UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Física, Instituto de Química,
Instituto de Biociências e Faculdade de Educação

A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO: CAMINHOS PARA A SALA DE AULA

LIGIA VALENTE

ORIENTADORA: PROFa. DRA. MARIA REGINA DUBEUX KAWAMURA

**São Paulo
2009**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Física, Instituto de Química,
Instituto de Biociências e Faculdade de Educação

**A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO:
CAMINHOS PARA A SALA DE AULA**

LIGIA VALENTE DE SÁ GARCIA

ORIENTADORA: PROfa. DRA. MARIA REGINA DUBEUX KAWAMURA

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

Profa. Dra. Maria Regina Dubeux Kawamura (IF-USP Orientadora/Presidente)

Profa. Dra. Suzana Salem Vasconcelos (IF-USP)

Profa. Dra. Sonia Maria Silva Corrêa de Souza Cruz (UFSC)

**São Paulo
2009**

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

Valente, Ligia

A física moderna e contemporânea no ensino médio:
caminhos para a sala de aula - São Paulo, 2009.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.
Instituto de Física. Departamento de Física Experimental

Orientador: Profa. Dra. Maria Regina Dubeux
Kawamura

Área de Concentração: Ensino de Ciências

Unitermos: 1. Física - Estudo e ensino; 2. Física
moderna; 3. Física Nuclear; 4. Ensino médio; 5. Currículo
de ensino médio.

USP/IF/SBI-056/2009

Agradecimentos

Gostaria, em primeiro lugar, agradecer à Maria Regina que, desde o início, acreditou em mim mais do que eu mesma... Uma pessoa realmente especial, que admiro muito desde a época da graduação, quando ainda era minha professora, alguém que ama e se dedica ao que faz e sempre “arruma um tempinho” para atender, ouvir, aconselhar os alunos, mesmo quando está ocupada. Uma pessoa sábia, sensível, prestativa, querida.... que me ensinou muito sobre mim. Ela é o exemplo que eu gostaria de alcançar em minha jornada.

E com carinho especial às minhas amigas Soninha e Marcília, sem as quais essa dissertação não seria possível. Sonia Salem, uma grande mulher num corpo de menina, que, de referencial teórico passou a ser minha amiga, irmã, mãe e filha. Soninha... uma pessoa maravilhosa, com quem aprendi muito, obrigada por tudo!

Minha dualidade onda-partícula Marcília, obrigada pelos conselhos, companheirismo, discussões (nem sempre teóricas), pelas broncas e risadas... Nunca trabalhei tão harmoniosamente com uma pessoa como trabalhei com ela, uma complementaridade única. Ela é responsável por grande parte desse trabalho, minha companheira “madura” de pesquisa, com quem também aprendi muito.

Dentre os amigos da graduação, não poderia deixar passar em branco o Ivã Gurgel que, já naquela época, era um exemplo para mim, e nossa aproximação no Mestrado fez com que ele se tornasse ainda mais especial. Nossas discussões físicas e

filosóficas foram insubstituíveis, desde o início sabia que ele seria a companhia ideal na trabalhosa, porém construtiva monitoria de Física Moderna...

Gostaria também de agradecer à Prof^a Mazé que, no 3º ano da graduação, fez com que eu tivesse certeza que estava seguindo o caminho certo e despertou minha paixão pela Física Moderna, e ao Prof. Pietrocola que acreditou em mim e foi a primeira pessoa a me encorajar a ingressar no Mestrado.

Aos professores Zanetic e Menezes pelos quais tenho grande admiração, aos colegas do corredor, Cris, Gisele, Roseline, Jacke, Breno, Anne e Fred, ao Esdras pelos “socorros computacionais”, ao Prof. Cristiano pelos “autógrafos emergenciais” e à Renatinha pela serenidade, conselhos e socorros “não computacionais”: muito obrigada a todos pela convivência diária sempre enriquecedora, pela cumplicidade, pelos “Bons Dias”, pelas conversas (acadêmicas e não acadêmicas) dos almoços, cafés e congressos... E ao Betão, meu amigo desde a graduação, que infelizmente não pode compartilhar a conclusão de meu trabalho.

Enfim, chegando à família, agradeço aos meus pais, que também são professores, Odair de Sá Garcia e Zuleide Valente, duas pessoas muito lindas e queridas, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando nessa caminhada até aqui, que sem os quais, não seria possível. Serei eternamente grata a vocês dois pelos valores que me passaram e por me ensinarem a valorizar e ter gosto pelo estudo, enfim, por fazer com que eu me tornasse quem sou.

Por último, e não menos especial, à Cassi, que nesses 3 anos esteve ao meu lado, sempre me ouvindo, aconselhando e amparando nos momentos em que eu mais precisei, estando perto ou não. Que lia cuidadosamente o que eu escrevia, corrigindo o português e suas concordâncias... minha companheira querida, obrigada por tudo!!!

“Não basta ensinar ao homem uma especialidade. Porque se tornará assim uma máquina utilizável, mas não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto. A não ser assim, ele se assemelhará, com seus conhecimentos profissionais, mais a um cão ensinado do que a uma criatura harmoniosamente desenvolvida.” (EINSTEIN, 1981, p.29)

RESUMO

Embora a importância e urgência da inserção de temas da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio sejam quase consensuais, ainda há poucas propostas estruturadas nesta direção, com foco específico na sala de aula. Neste trabalho investigamos possíveis formas de seleção e organização curricular de conhecimentos de Física Moderna, visando intervenções no ensino médio. Para isso, analisamos as organizações temáticas apresentadas em livros didáticos mais recentes, assim como em propostas e discussões de professores e pesquisadores da área do Ensino de Física. Como instrumentos de análise, utilizamos categorias que emergem das próprias justificativas para a inserção da FMC, com ênfase em três aspectos centrais, referentes às dimensões científicas, tecnológicas e sociais. Nesse contexto, são também apresentadas e discutidas duas propostas de seleção temática por nós desenvolvidas, centradas, respectivamente, na relação $E=mc^2$ e em aspectos da física nuclear. De maneira geral, é possível verificar que os livros didáticos de ensino médio apresentam versões simplificadas e resumidas do conhecimento de livros mais avançados. Paralelamente, propostas temáticas pontuais encontram dificuldade em articular os conhecimentos aplicados que possuem aspectos científicos mais estruturados. Ainda que seja reconhecida a necessária diversidade de abordagens, a articulação de aspectos científicos, tecnológicos e sociais em torno de temas específicos através de estratégias que envolvam atividades concretas, mostrou-se uma alternativa de grande potencial.

ABSTRACT

A significant problem for the introduction of Modern Physics contents in secondary schools physics is considered to be the appropriated selection of themes in curriculum design. To discuss this difficulty, we investigated how contents selections in this field have been accounted in recent physics text books and in local alternative propositions, in physics teaching research area. For analyzing these materials, we considered three major aspects: the introduction of the new ideas and conceptions of science of the twenty century, the concern of technological aspects that could contribute to the comprehension of contemporary world and the potential for discussion of social problems involving modern science impact in society. These three categories are also the major justifications for considering modern and contemporary physics in high school education. We also present two classroom propositions that we developed considering these same categories in selected themes, involving the $E=mc^2$ equation and nuclear physics aspects. The results obtained in these analyze and interventions could contribute for the discussion, selection and future designs of high school curriculum.

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUÇÃO.....	13
CAPÍTULO 1	
Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio:	22
As expectativas e suas justificativas	22
1.1- Panorama sobre a inserção da FMC no EM e suas expectativas.....	23
1.1.1- Ênfase nos aspectos científicos	25
1.1.2- Ênfase nos aspectos tecnológicos	27
1.1.3- Ênfase nos aspectos sociais	29
1.2- Articulando Ciência-Tecnologia-Sociedade.....	30
CAPÍTULO 2	
A Física Moderna nos livros didáticos do Ensino Médio.....	35
2.1- Estratégia de análise	36
2.2- Seleção e organização dos conteúdos.....	40
2.2.1- Temas e tópicos.....	44
2.2.2- Seqüência, extensão e forma de abordagem.....	46
2.3- Ênfases e justificativas implícitas.....	49
2.3.1- A Equação $E=mc^2$	50
2.3.2- A Física Nuclear.....	55
2.4- Síntese dos resultados	68
CAPÍTULO 3	
Propostas de introdução da FMC no EM.....	73
3.1- Introdução	73
3.2- Propostas apresentadas em encontros da área de Ensino de Física	74
3.2.2-Temas da FMC abordados nos trabalhos	84
3.3- Propostas apresentadas em dissertações e teses	86
3.3.1- Proposta: Teoria da Relatividade	91
3.3.2- Proposta: Dualidade onda-partícula	97
3.3.3- Proposta: Nuclear	100
3.3.4- Síntese dos resultados	103

CAPÍTULO 4	107
Propostas e intervenções.....	107
4.1- Intervenção $E=mc^2$: propostas para a sala de aula	109
4.1.1- Caracterização e justificativa	109
4.1.2- Estrutura do curso.....	112
4.1.3- Atividades desenvolvidas	115
4.1.4- Acompanhamento e avaliação	121
4.2 - Intervenção Energia Nuclear: propostas para a sala de aula.....	123
4.2.1- Caracterização e justificativa	123
4.2.2- Estrutura do curso.....	126
4.2.3- Atividades desenvolvidas	128
4.2.4- Acompanhamento e avaliação	134
CAPÍTULO 5	136
Análises das intervenções	136
5.1 – Seleção de conteúdos e temas.....	138
5.1.1- Nos livros didáticos do EM	142
5.1.2- Nas propostas da área de Ensino de Física.....	149
5.2 – Articulação Ciência-Tecnologia-Sociedade	151
5.2.1- CTS nos livros didáticos	155
5.2.2- CTS nas propostas da área de Ensino de Física	158
5.3 – Estratégias	159
5.3.1- Processo de elaboração dos cursos.....	160
5.3.2- Natureza das atividades	163
5.3.3- Alguns resultados	165
CAPÍTULO 6	173
Considerações Finais	173
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	180
ANEXOS	188
<i>Fichas individuais dos livros de Ensino Médio analisados</i>	<i>188</i>
<i>Matriz completa dos conteúdos do livro de referência abordados nos livros de Ensino Médio</i>	<i>195</i>
Atividade 2A: $E = mc^2$: umas continhas	197
Atividade 5A: $E=mc^2$: Aplicações da Energia Nuclear e das Radiações	198
Atividade 6A: $E=mc^2$: O Sol	208
Atividades desenvolvidas ao longo da segunda etapa do curso	209
Atividade 1B: Onde há energia nuclear?	212
Atividade 2B: Gráfico $Z \times N$	212
Atividade 3B: “Quebra-cabeça” de uma usina nuclear	213
Atividade 4B: Calculando a energia liberada na fissão	215
Atividade 5B: Trocando perguntas sobre problemas decorrentes do uso da Energia Nuclear	215
Atividade 6B: Energia nuclear na sala de aula	217
Modelo da ficha de avaliação individual do curso: Energia Nuclear, propostas para a sala de aula.....	217
Propostas didáticas elaboradas pelos professores	217
Frases elaboradas pelos professores que sintetiza o curso Energia Nuclear: Propostas para a sala de aula.....	219
Mapas elaborados pelos professores no curso Energia Nuclear: Propostas para a sala de aula.....	219

INTRODUÇÃO

A motivação inicial desse trabalho tem sua origem em 2001, no primeiro semestre do terceiro ano de minha graduação em Licenciatura em Física, no Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP), quando cursei a disciplina Física Moderna I, ministrada pela Prof^a Dra. Maria José Bechara. Os conceitos abordados nessa disciplina eram praticamente inéditos para mim.

As informações, relacionadas ao tema, que eu possuía antes eram limitadas a algumas leituras superficiais de revistas de divulgação, a documentários em vídeo e à participação de colóquios.

E após esse contato mais sistemático com essa “nova física”, ao longo daquele semestre, passei a olhar o Universo ao meu redor de uma maneira diferente. Logo em seguida cursei a disciplina Física Moderna II, ministrada pelo Prof. Dr. Marcos Nogueira Martins, na qual me aprofundei em mais conceitos e tive acesso a idéias novas. Lembro-me que fiquei encantada quando aprendi que a construção da tabela periódica, que havia decorado no Ensino Médio: $1s^2$, $2s^2$, $2p^6$, etc, colunas e linhas, era fundamentada por conceitos físicos, por teorias e fundamentos da Mecânica Quântica.

No primeiro semestre do Programa de Mestrado em Ensino de Ciências - modalidade Física na USP, em 2005, cursei a disciplina “Os fundamentos da Física e a Física contemporânea como conteúdos instrucionais”, ministrada pelo Prof. Dr. Luis Carlos de Menezes. Essa disciplina tinha como “linha condutora” o livro¹: “A matéria uma

¹ MENEZES, Luis Carlos de. *A matéria uma aventura do espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento físico*. São Paulo: Editora da Física, 2005.

aventura do espírito”. Mais uma vez eu estava defronte a assuntos como a formação do universo e alguns conceitos da física do século XX que eu ainda não havia compreendido plenamente, durante a graduação.

Trabalho como professora de Física no Ensino Médio há cerca de oito anos. E lecionando Física, quando me deparava pela “vigésima vez” ensinando conceitos de cinemática para mais uma turma de alunos, pensava: porque “tenho” que ensinar essa física do século XVII, extremamente dogmática com esse “formulismo” exacerbado se estamos no século XXI? E nesses meus devaneios sempre me vinha à mente uma frase proferida por meu professor, João Zanetic, com o qual também trabalhei durante o mestrado. Ele costumava dizer, pelo menos uma década antes do final do século passado, que “o século XX já estava se aproximando do seu final e a física revolucionária nele desenvolvida não tinha ido para as salas de aula do Ensino Médio”. E já estamos no século XXI e ainda a Física Moderna e Contemporânea não está presente de fato nas salas de aula do Ensino Médio.

O nosso cotidiano e dos meus alunos, na sociedade atual, com o avanço da tecnologia, se tornou repleto de aparelhos e dispositivos desenvolvidos a partir da Física Moderna e Contemporânea, como equipamentos a laser, relógios de cristal líquido, exames diagnósticos de ressonância magnética e tomografia computadorizada, equipamentos radiológicos, brinquedos, CD’s, DVD’s, MP3, 4, 5... entre outros. Percebia que os alunos nem podiam imaginar que a Física poderia explicar, com “relativa simplicidade”, os fundamentos destes aparelhos e equipamentos.

Assim, quando fui delimitar o tema de meu projeto de pesquisa, optei por trabalhar com a inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, tendo em vista que ela está presente e interfere no cotidiano de todos nós, e é indispensável para uma leitura crítica do Universo que nos rodeia. Essas questões são importantes na formação

de qualquer cidadão e, particularmente, na formação de nossos alunos de Física no Ensino Médio. Para que eles compreendam as questões envolvidas nos debates atuais, por exemplo, em relação às usinas nucleares de Angra dos Reis entre outros, e tenham fundamentos, argumentos e até mesmo perguntas, é necessário que se apropriem dos conhecimentos científicos pertinentes ao assunto. Conhecimentos esses que precisam estar contextualizados, associados à “vida real”, de modo a adquirirem os sentidos e significados para lidar com essas questões.

Ao mesmo tempo, decidi dirigir minha atenção aos problemas que dificultam a efetiva inserção da Física Moderna e Contemporânea na sala de aula do Ensino Médio. Ou seja, investigar os caminhos para uma real introdução de propostas para abordar tais temas, que já vêm sendo apresentadas, de forma razoavelmente consistente, há quase vinte anos.

Inserir e desenvolver temas contemporâneos ou da Física Moderna no Ensino Médio não se trata, sob nosso ponto de vista, apenas de acrescentar um novo tópico, fenômenos, leis, princípios ao já extenso conjunto de conteúdos presentes nos livros didáticos e nas grades curriculares ou de memorizar e aplicar novas fórmulas. Mas de possibilitar a compreensão de questões atuais relevantes, solucionar ou discutir problemas reais e até mesmo de se posicionar.

Essa tarefa nem sempre é fácil. Precisamos utilizar nossa “criatividade”, além de nossos próprios conhecimentos, para inserir esses temas, que mesmo quando presentes nos livros de Ensino Médio, não são trabalhados pela maioria dos professores.

i. Panorama sobre a inserção da Física Moderna e Contemporânea

As principais justificativas para esse tipo de investigação vêm da insistente discussão, ao longo das duas últimas décadas, sobre a necessidade da introdução de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio (FMC no EM). Na área

de Ensino de Física, diferentes trabalhos (Terrazzan, 1994; Camargo, 1996; Menezes e Hosoume, 1997; Paulo, 1997; Pinto e Zanetic, 1999; Ostermann e Moreira, 2000; Valadares e Moreira, 1998; Brockington e Pietrocola, 2004, Perez e Caluzi, 2004; Machado e Nardi, 2006; Viana e Filho, 2006, entre outros) têm focalizado essa questão, incluindo levantamentos de temas e propostas, além de pesquisas voltadas para concepções dos alunos e o desenvolvimento de exemplares em sala de aula.

Quanto à forma de introdução da FMC, duas linhas principais emergem desses trabalhos. Por um lado, Terrazzan (1994), assim como vários outros autores, vêm propondo que os conteúdos de FMC na escola média não componham necessariamente uma unidade temática por si só, mas sejam integrados às demais temáticas usualmente tratadas, como Mecânica, Ótica, Eletricidade etc. Nessa proposta, os conceitos e as novas concepções da Física do século XX seriam apresentadas de forma complementar, em cada um desses temas, permitindo que se perceba melhor a “novidade” que representam em cada uma das várias áreas da Física.

Por outro lado, há aqueles que defendem que as idéias da FMC sejam apresentadas como uma unidade temática propriamente dita. De certa forma, os próprios PCNs+, em uma construção curricular apresentada como exemplo, propõem, dentre seis temas, um específico sobre matéria e radiação, que trataria de aspectos relativos à FMC.

Uma revisão bibliográfica desenvolvida por Ostermann (2002) aponta para duas grandes tendências, a respeito das seleções temáticas referentes à inserção da FMC. Há um conjunto expressivo de trabalhos sobre a introdução de temas referentes à Relatividade, Mecânica Quântica e Partículas Elementares, considerando-se essas teorias de forma abrangente, como pensamentos articulados e correspondentes a uma dada construção de idéias desenvolvidas ao longo do século XX. Em contraponto, e como abordagem complementar, há propostas de introdução de temas específicos, que

poderíamos identificar como pontuais: lasers, armas nucleares, cristais líquidos, entre outros, decorrentes de escolhas ou recortes que atendem, mais diretamente, às justificativas de compreensão das tecnologias contemporâneas. Na maior parte dos casos, contudo, a opção que parece prevalecer aponta para a introdução de temas de FMC em unidades próprias.

Há, portanto, um grande número de trabalhos que tratam da inserção da FMC no Ensino Médio. Porém, grande parte deles, ainda que apresente importantes argumentações e fundamentações teóricas, não trata especificamente das questões relativas às novas práticas que os professores devem desenvolver nem das questões de sala de aula.

Mais recentemente, essa proposta de inserção da FMC vem se instaurando juntamente com uma expressiva preocupação de renovação curricular do Ensino Médio. Nessa direção, grande parte dos livros didáticos utilizados nesse nível, em suas edições mais recentes, tem incorporado alguns desses conteúdos, além de publicações de materiais didáticos independentes, alguns deles incluindo propostas de experimentos.

No entanto, apesar da intensa discussão na área de ensino de física e da presença de capítulos destinados à FMC em textos didáticos, esses conhecimentos continuam encontrando sérias dificuldades para chegar à sala de aula. Poucos professores se sentem preparados para tratar esses novos conteúdos e apontam, também, a extensão dos programas atuais, o que já os impede de um tratamento completo dos temas tradicionais.

ii. Propostas e hipóteses preliminares

Diante desse quadro, o objetivo central de nossa pesquisa é investigar as dificuldades encontradas para a introdução da FMC no EM. Ou seja, pretendemos

compreender por que esse conteúdo não está presente de fato, na maioria das salas de aula, apesar da existência de praticamente um consenso sobre sua introdução.

Nosso ponto de partida inicial previa focalizar a atenção sobre a ótica dos professores que atuam nesse nível de ensino. Para isso desenvolvemos ações em programas de formação continuada, entendendo essas intervenções como estudos de caso.

Pretendíamos, portanto, enfocar as relações entre o trabalho do professor nas atividades propostas durante os cursos e atividades de formação continuada e seus caminhos ou dificuldades para inserir os conhecimentos da FMC em sua prática concreta, na sala de aula. Tendo como "pano de fundo" a questão da relação entre a apropriação² do conhecimento pelos professores e o que eles levam para a sala de aula, investigaríamos como se dá e como é percebida essa transposição, pelos professores, e como eles analisam as diversas possibilidades.

Algumas das hipóteses iniciais que orientaram nosso trabalho eram que as dificuldades encontradas pelos professores nesse percurso estavam relacionadas à maneira pela qual a FMC está sendo tratada nos livros didáticos de EM, ao próprio conhecimento de FMC do professor e suas estratégias de aprendizagem.

iii. Objetivos e objeto de pesquisa

Após realizarmos a primeira intervenção, percebemos a dificuldade em estruturar nossa proposta curricular e selecionar os conteúdos, ou seja, definir quais critérios deveriam ser utilizados nesse processo e, em decorrência, com qual abordagem os temas selecionados deveriam ser trabalhados. Nesse processo, outra questão nos pareceu mais

² O termo apropriação é utilizado segundo a concepção de FREIRE (1987), no sentido de se apropriar do conhecimento e saber utilizá-lo em sala de aula.

essencial e diz respeito à própria organização e seleção do conhecimento de FMC a ser trabalhado.

Dentro desse quadro, nossa questão de pesquisa teve, portanto, que ser reformulada. Continuamos investigando os caminhos e as dificuldades para que propostas de FMC cheguem à sala de aula, e considerando o professor como o ator fundamental. No entanto, ao invés de centrarmos nossa atenção sobre as práticas, conhecimentos e vivências dos professores, tendo como principal fonte de referência pesquisas relacionadas à formação continuada de professores, percebemos a necessidade de investigar as estruturas, seqüências e escolhas temáticas que estão sendo propostas para a inserção da FMC, assim como as estratégias de trabalho.

Nesse novo contexto, pretendemos compreender quais elementos devem comparecer no processo de seleção e organização dos temas de Física Moderna e Contemporânea a serem desenvolvidos no Ensino Médio, para que ela seja de fato inserida nas salas de aula deste nível. Embora a questão central do nosso trabalho permaneça a mesma, seu encaminhamento foi reformulado.

iv. Estratégias de investigação

Podemos, portanto, recolocar o objetivo desse trabalho. Pretendemos investigar quais temas e estratégias podem favorecer a introdução real da FMC nas salas de aula do EM, com foco na problemática relativa à seleção de conteúdos e organização curricular, ou seja, buscamos compreender como se constrói uma proposta e como os conteúdos podem ser selecionados e organizados para promover o desenvolvimento da FMC por professores do Ensino Médio.

Com esse objetivo, inicialmente, realizamos um levantamento, em diversos trabalhos da área que defendem a inserção da FMC no EM, das justificativas apresentadas e dos objetivos pretendidos. E procuramos identificar como é realizada a

seleção de conteúdos e como eles estão organizados, quer nas propostas presentes nesses trabalhos, quer nos livros didáticos de Física do Ensino Médio, que incorporam, de alguma forma, tópicos de FMC.

Elaboramos e realizamos intervenções, na forma de cursos de formação continuada, voltados para professores de Ensino Médio, em situações e contextos diferentes, nas quais sugerimos possibilidades de organização e tratamento de temas da FMC. Uma análise dessas intervenções nos permitiu criar parâmetros para confrontá-las com o que está sendo proposto nas diversas investigações na área de pesquisa em Ensino de Física e refletir sobre diferentes aspectos e limitações de nossas escolhas.

v. Estrutura da dissertação

Apresentaremos um breve resumo dos capítulos dessa dissertação, explicitando, de maneira sucinta, sua estrutura e os objetivos que pretendemos alcançar.

Estando consolidada a inserção da FMC no EM como uma tendência de renovação curricular, identificamos, no Capítulo 1, em trabalhos da área de Ensino de Física, as expectativas desejadas como resultado dessa inserção. O intuito principal desse mapeamento é identificar as justificativas apresentadas e, nesse contexto, explicitar nossos objetivos educacionais para essa inserção. Identificamos três grandes conjuntos de justificativas, que contemplam elementos da Ciência, Tecnologia e Sociedade, os quais orientaram a elaboração dos capítulos posteriores.

No Capítulo 2 investigamos em que medida as tendências, que começam a se estabelecer através dos livros didáticos estão satisfazendo às expectativas da comunidade de pesquisa em Ensino de Física, identificadas no capítulo 1, assim como aos objetivos formativos apontados nas diretrizes e nos parâmetros curriculares para o Ensino Médio, através das competências e habilidades a serem promovidas.

Para tomar contato com o que vem sendo discutido na área de ensino de Física, no Capítulo 3, realizamos um levantamento e analisamos trabalhos apresentados em encontros da área, dissertações de mestrado e teses de doutorado apresentadas e defendidas em instituições brasileiras, que abordam questões de ensino relacionadas à FMC.

No Capítulo 4 descrevemos as intervenções por nós realizadas, que visam a inserção da FMC no EM, caracterizando nossas propostas, a maneira pela qual os conteúdos da FMC foram selecionados e organizados, as abordagens e estratégias adotadas e a estrutura de cada proposta.

No Capítulo 5 procuramos compreender, a partir da discussão das intervenções realizadas, quais elementos devem comparecer no processo de seleção e organização dos temas da FMC a serem desenvolvidos em sala de aula. Com base nessa análise, confrontamos nossas propostas e ações com as novas tendências dos livros didáticos, bem como com as outras propostas analisadas, em termos da seleção e organização dos conteúdos, da presença dos elementos científicos, tecnológicos e sociais e das estratégias adotadas. Ao discutir os recortes realizados utilizamos como referência autores que reconhecem a necessidade dessa seleção, como Chevallard (1998) e García (1998), ainda que esses autores assumam pontos de vista diferentes quanto à natureza e critérios a serem adotados nesse processo.

Finalmente, no Capítulo 6, estabelecemos algumas considerações e conclusões sobre os pontos discutidos ao longo do trabalho.

CAPÍTULO 1

Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: As expectativas e suas justificativas

A reformulação do Ensino Médio no Brasil, estabelecida pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN) de 1996, regulamentada, em parte, a partir de 1998, pelas Diretrizes do Conselho Nacional de Educação e pelos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) e, posteriormente, complementada pelos PCN+, procurou atender a uma reconhecida necessidade de atualização da educação brasileira. (BRASIL, 2002, p.8).

O “novo” ensino médio deixou de ser simplesmente preparatório para o ensino superior ou estritamente profissionalizante, assumindo a responsabilidade de completar a educação básica. Assim, o ensino médio, como etapa conclusiva da educação básica, deve *“preparar para a vida, qualificar para a cidadania e capacitar para o aprendizado permanente, em eventual prosseguimento dos estudos ou diretamente no mundo do trabalho.”* (BRASIL, 2002, p.8).

Entendemos que formar um aluno “para vida” envolve o desenvolvimento de diferentes competências e, entre elas, destaca-se a necessidade que ele saiba se comunicar, argumentar, enfrentar problemas cotidianos, posicionando-se e elaborando críticas sobre eles. E acreditamos que, em nosso mundo atual, para que essa formação

seja promovida, não se pode abrir mão de temas e conteúdos é necessário que alguns aspectos da Física Moderna e Contemporânea (FMC) estejam inseridos no Ensino Médio. Nessa mesma linha destacamos:

A presença do conhecimento de Física na escola média ganhou um novo sentido a partir das diretrizes apresentadas nos PCNEM. Trata-se de construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade. (BRASIL, 2002, p.59).

Essa discussão é muito ampla e o fato dela estar presente nos PCNEM reflete uma preocupação da área de ensino de física com essa questão. Assim, é dentro desse contexto de mudança, que devem ser considerados os objetivos da introdução de temas de FMC na escola média.

1.1- *Panorama sobre a inserção da FMC no EM e suas expectativas*

Paralelamente, a inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio (EM) consolidou-se nos últimos anos como uma forte tendência de renovação curricular, na área de Pesquisa em Ensino de Física. Como vimos anteriormente, ao longo das duas últimas décadas, cada vez se torna mais presente a discussão a cerca da necessidade da introdução desses conteúdos, assim como das justificativas que embasam essa necessidade. Percebemos que diversos autores, como por exemplo, Terrazzan (1992) e Menezes e Hosoume (1997) já consideravam essa importância:

A influência crescente dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como 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 de 2º grau. (TERRAZZAN, 1992, p.210).

O aprendizado da física quântica está se revelando necessário em diversos pontos de um programa de ensino médio, que desenvolve a física

também como instrumento para os estudantes compreenderem os fatos de seu cotidiano, sejam fenômenos naturais ou processos tecnológicos. (MENEZES e HOSOUME, 1997, p.282).

Ainda que tenha se estabelecido um quase consenso sobre a importância desses conhecimentos, as justificativas para as abordagens do tema nos diversos trabalhos produzidos na área são, aparentemente, muito diversificadas, sendo que nem sempre as eventuais diferenças de pontos de vista são explicitadas.

No intuito de delimitar melhor nossos objetivos em relação às propostas de inserção da FMC no ensino médio, buscamos, inicialmente, investigar quais são as justificativas que vêm sendo apresentadas, analisando formas de sistematizá-las.

Assim, para identificar as expectativas que se esperam com a inserção da FMC, analisamos artigos da área de pesquisa em Ensino de Física, trabalhos apresentados em Encontros e Congressos e dissertações de mestrado. Restringimos nossa análise ao período dos últimos anos e àqueles casos em que as justificativas eram explícitas. Em cada documento, fixamos nosso foco de análise nas diversas justificativas que os autores apresentavam, listando-as e buscando possíveis formas de sistematização.

Essa revisão mostrou a possibilidade de sistematizar os diferentes objetivos educacionais pretendidos em três conjuntos ou categorias de propostas, segundo a ênfase privilegiada em cada caso.

É importante ressaltar que não houve a intenção de enquadrar autores em categorias, mesmo porque alguns autores fazem menção a diversificados objetivos e justificativas. Trata-se de procurar identificar e sistematizar a natureza das expectativas apresentadas, reconhecendo (e compartilhando) sua diversidade. Esclarecemos, também, que tais categorias foram construídas para demarcar as tendências mais significativas,

que nem sempre são excludentes, ou seja, podem ser complementares e intercambiáveis, compondo campos com intersecções. Da mesma forma, não consideramos que essa forma de sistematização seja única, mas apenas que responde de forma satisfatória aos objetivos com que a realizamos.

Dessa forma, os três conjuntos de expectativas identificadas privilegiam diferentes aspectos, com ênfases, respectivamente, em (i) questões da própria **ciência**, (ii) aspectos de caráter **tecnológico** e (iii) **implicações sociais** desses novos conhecimentos. Passamos, a seguir, a caracterizar essas ênfases.

1.1.1- Ênfase nos aspectos científicos

Nessa categoria reunimos as justificativas que privilegiam a introdução da Física Moderna e Contemporânea pela nova dimensão que seus conhecimentos aportam para a compreensão do universo estudado pela Física Clássica e pelas idéias novas introduzidas quanto à própria natureza da ciência. São aspectos internos à ciência, enfatizando uma nova visão da física enquanto ciência, resultante de novas idéias como, por exemplo, a relatividade do espaço e do tempo e a quantização de energia. As justificativas caracterizadas aqui fazem um forte apelo à necessidade de se explorar a investigação científica em suas várias dimensões.

Alguns autores destacam que esse tipo de abordagem, na qual a ciência é apresentada em sua face mais completa, pode vir a ser um fator de motivação para os alunos e até mesmo servir como incentivo para que jovens sigam a carreira científica. Como exemplos desse tipo de justificativa, podemos citar os trabalhos de Pinto e Zanetic (1999) e de Ostermann e Moreira (2000), que elucidam o contraponto entre a Física Moderna e a Física Clássica:

É preciso transformar o ensino de Física tradicionalmente oferecido por nossas escolas 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. (PINTO e ZANETIC, 1999, p.7)

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. Esta situação é inaceitável em um século no qual idéias revolucionárias mudaram a ciência totalmente; É do maior interesse atrair jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física. (OSTERMANN e MOREIRA, 2000, p.24)

Da mesma forma, Perez e Caluzi (2004), Brockington (2005) e Medeiros *et. al.* (2005), entre outras justificativas, destacam:

Não estamos apenas preocupados em conhecer as implicações tecnológicas da Física Moderna – é claro que elas são intelectualmente excitantes, mas preocupamo-nos em abordar a física teórica que também constitui um tema amplamente explorado pela mídia em geral e, normalmente relegado às últimas páginas de um último capítulo dos livros didáticos. (PEREZ e CALUZI, 2004, p.3)

Como muito dos temas de FMC não têm uma aplicação direta, pode-se trabalhar mais essa dimensão “contemplativa”, prazerosa do conhecimento, focando os processos da ciência, suas motivações, seus problemas e questionamentos. Assim, pode-se discutir questões fundamentais da construção das teorias e suas relações com a realidade, na tentativa de desenvolver nos alunos a satisfação intelectual que se tem ao compreender esses assuntos. (BROCKINGTON, 2005, p.20)

O Ensino Médio é a última oportunidade de contato com a ciência para a grande maioria dos estudantes [...] ao não se tratar de FMC priva-se o futuro cidadão, em face de tudo que foi discutido anteriormente, de tomar conhecimento desta nova maneira, criada pelo homem, de compreender e prospectar a realidade. (BROCKINGTON, 2005, p.10)

O estudante precisa perceber que a história da Física não é uma mera seqüência linear de eventos, mas antes de tudo é caracterizada por embates entre idéias e interpretações. [...] Enfatizando as novas interpretações trazidas pela Relatividade Restrita e pela quantização da energia, para fenômenos acessíveis à experimentação na época do surgimento destas teorias, parece salutar acompanhar historicamente a evolução da aplicação dessas novas teorias ao estudo da realidade física. (MEDEIROS et.al., 2005, p.2)

Retomando as idéias apresentadas nos fragmentos acima, percebemos que as justificativas que destacam os aspectos científicos enfatizam que a FMC deve ser inserida no EM para explicar fenômenos que a *“Física Clássica não explica, constituindo uma nova visão de mundo”*. Destacam a importância de levar aos estudantes *“as idéias novas e revolucionárias que mudaram totalmente a ciência”*. Enfatizam, também, a preocupação em abordar a física de uma perspectiva mais teórica, em sua dimensão investigativa e contemplativa, discutindo questões fundamentais da construção das teorias, *“na tentativa de desenvolver a satisfação intelectual que se tem ao compreender esses assuntos.”*

1.1.2- Ênfase nos aspectos tecnológicos

Nessa segunda categoria, reunimos as justificativas mais fortemente baseadas na interface entre a ciência e a tecnologia. Neste caso, os autores enfatizam que muitos dos aparatos tecnológicos presentes no cotidiano são, de alguma forma, frutos do desenvolvimento da Física Moderna. Assim, justificam que a compreensão de muitos dos conceitos desenvolvidos na Física Moderna e Contemporânea é essencial e importante para compreender grande parte da tecnologia atual, presente em sistemas e equipamentos do cotidiano, da vida e do trabalho.

Como exemplo dessa tendência, em relação aos aspectos tecnológicos, citamos alguns trabalhos:

Aparelhos e artefatos atuais, bem como fenômenos cotidianos em uma quantidade muito grande, somente são compreendidos se alguns conceitos estabelecidos a partir da virada deste século forem utilizados. (TERRAZZAN, 1992, p.210).

É imprescindível que o estudante do segundo grau conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e certamente definirá o seu futuro profissional. Daí a importância de se introduzir conceitos básicos da Física Moderna e, em especial, de se fazer uma ponte entre a física da sala de aula e a física do cotidiano. (VALADARES e MOREIRA, 1998, p.121)

Enfatiza-se a necessidade de abordar a física do século XX em sala de aula, para além daquela produzida nos séculos anteriores, de modo a dar um tratamento sistemático no âmbito da educação escolar de conhecimentos com os quais os alunos convivem, quer devido a constância com que são citados na mídia, quer pela sua presença nas novas tecnologias, que cada vez mais estão presentes na vida dos cidadãos. (ALVETTI e DELIZOICOV, 1998, p.1)

O cidadão do século XXI precisa, tanto para exercer sua cidadania quanto para atuar profissionalmente, dominar não só a linguagem das letras como também passar por um processo de alfabetização científica, através do qual ele poderá usufruir conscientemente dos benefícios que os recursos tecnológicos contemporâneos lhe proporcionam. (COSTA e SANTOS, 1998, p.1)

Podemos destacar dentre os motivos mais convincentes aqueles que permitem que os alunos dialoguem com os fenômenos físicos que estão por trás do funcionamento de aparelhos que, atualmente, são utilizados de forma corriqueira no dia-a-dia da maioria das pessoas, fato, aliás, que torna o assunto bastante interessante. (CARVALHO e ZANETIC, 2004, p. 2)

Percebemos, a partir dos fragmentos acima, que representam a perspectiva dominante nessa categoria, que a proposta de ensino da FMC no EM é fundamentada pela necessidade de entendimento dos pressupostos que explicam o funcionamento dos recursos tecnológicos contemporâneos. Uma vez que esses aparatos tecnológicos têm

aplicações diretas e estão cada vez mais presentes na vida dos alunos, um conhecimento aprofundado de seu funcionamento pode possibilitar que eles usufruam conscientemente dessas novas tecnologias.

1.1.3- Ênfase nos aspectos sociais

Um terceiro conjunto de justificativas para que a FMC seja contemplada no Ensino Médio é aquele que defende a importância desses conhecimentos científicos para a formação do cidadão contemporâneo. Nesse caso, há uma ênfase em uma formação mais ampla, preocupada em formar cidadãos que saibam lidar de forma crítica com os problemas contemporâneos, para compreender e atuar numa sociedade que está constantemente influenciando e sendo influenciada pelas mudanças tecnológicas e científicas. E os conhecimentos de FMC seriam essenciais para subsidiar tais propósitos. Vemos essa tendência em trabalhos de Delizoicov (2001), Carvalho e Zanetic (2004) e Sanches *et. al.* (2006):

[...] o conhecimento trabalhado na escola deve ter a função de instrumentalizar o aluno para a sua melhor compreensão e atuação na sociedade contemporânea. (DELIZOICOV, 2001, p.135)

A importância de se fazer essa relação é candente para o estudante/cidadão, pois através dela é possível analisar algumas implicações da ciência no aspecto social, cultural, ecológico, enfim, global. Conhecendo essas implicações é possível adotar posturas éticas e políticas, cada vez mais necessárias, quanto ao uso das modernas tecnologias que o avanço da ciência possibilita. (CARVALHO e ZANETIC, 2004, p.2)

A importância da introdução da Física do século XX no currículo é também reconhecida, no sentido de construir no estudante a consciência de sua responsabilidade social e ética. Desse modo, é necessário promover competências para que o jovem seja capaz de avaliar a veracidade de informações ou para emitir opiniões de juízos de valor em relação a situações em que os aspectos físicos são relevantes. (SANCHES *et. al.*, 2006, p.2)

Também estão presentes, nessa categoria, outros trabalhos, como o de Machado e Nardi (2006), em que ao discutir uma proposta de construção de conceitos de FMC com suporte da hipermídia, destacam a evolução das concepções dos estudantes quanto aos conceitos tratados e suas implicações com aspectos ambientais, políticos e éticos associados a abordagens que enfatizam as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade. Terrazzan (1992), além de enfatizar os aspectos que mais se aproximam da ênfase “Ciência e Tecnologia”, também argumenta a importância dos conhecimentos da FMC para uma inserção consciente, participativa e modificadora do cidadão no mundo atual.

1.2- *Articulando Ciência-Tecnologia-Sociedade*

Analisando as diversas justificativas da área, percebemos que é possível, portanto, identificar três conjuntos de justificativas, cada um com uma natureza específica, priorizando ora os novos conceitos e concepções da própria Física, ora o potencial de explicação tecnológica implícito nesses conhecimentos, ora sua contribuição para a compreensão das questões sociais do mundo contemporâneo.

Essa foi a maneira que encontramos para organizar essas justificativas, ou seja, em torno dos elementos da tríade Ciência-Tecnologia-Sociedade. No entanto, é essencial reconhecer as inter-relações entre eles.

1-Ciência: Justificam a inserção da física moderna no ensino médio pela riqueza que esse tema permite em discutir aspectos científicos, relacionados à natureza da ciência, suas visões de mundo e transformações.

2-Tecnologia: Dentre as expectativas aqui estão as que dão ênfase à ponte entre os conteúdos de Física Moderna e os aparatos tecnológicos e aplicações presentes em nosso cotidiano.

3-Sociedade: Destacam que um cidadão contemporâneo precisa compreender a FMC para se posicionar de forma crítica nas implicações que a ciência e a tecnologia têm na sociedade.

Figura 1.1: Articulação das ênfases Ciência-Tecnologia-Sociedade

Na Figura 1.1, que elaboramos, apresentamos uma representação que sintetiza esse panorama, envolvendo os três conjuntos identificados e situando-os nas intersecções da tríade ciência-tecnologia-sociedade. Ou seja, essa representação contribui para reafirmar que essas ênfases não estão desconectadas. O primeiro conjunto corresponde diretamente ao âmbito da ciência, enquanto o segundo, à interseção das questões relacionadas à ciência e tecnologia e, finalmente, o terceiro às intersecções tanto da ciência e sociedade quanto da ciência, tecnologia e sociedade.

Acreditamos que esse quadro resume e sintetiza o conjunto de justificativas para a inserção da FMC no EM, tal como encontradas nas discussões da área de pesquisa em Ensino de Física. Criam a expectativa, portanto, de que, nas propostas concretas para o ensino médio, assim como nos livros-texto, venham a ser contempladas seleções de conteúdos com formas e abordagens diferenciadas, permitindo explorar o tema de

maneira ampla, incluindo aspectos tecnológicos e sociais, de forma a contemplar as várias motivações que justificam sua relevância.

Os PCN+ (BRASIL, 2002) ao propor, como um dos seis temas estruturadores, o tema “Matéria e Radiação”, em uma das possíveis formas de se organizar o ensino de física, contemplam, de certa forma esses três eixos.

A Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante. [...] Ao mesmo tempo, a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas sendo impulsionado. (BRASIL, 2002, p.59)

Alguns aspectos da chamada física moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirirem uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria. [...] A compreensão desses aspectos pode propiciar ainda, um novo olhar sobre os impactos da tecnologia nas formas de vida contemporânea, além de introduzir novos elementos para uma discussão consciente da relação entre ética e ciência. (BRASIL, 2002, 2002, p.77)

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) não apresentam uma justificativa explícita que enfatiza uma das três categorias, mas podemos perceber nos fragmentos acima a presença desses três aspectos. As justificativas e expectativas, apresentadas ao abordar a inserção da Física Moderna e Contemporânea, tanto nos PCN (BRASIL, 1999) como, mais recentemente, nos PCN+ (BRASIL, 2002), estão de acordo com as nossas.

Tais categorias, mesmo que não tenham sido assim sistematizadas, encontram ressonância com o universo das preocupações referentes ao movimento CTS, que contemplam as relações ciência-tecnologia-sociedade em suas diferentes articulações.

Uma proposta metodológica semelhante pode ser encontrada em Santos (2001) que, ao discutir uma concepção de abordagem CTS, propõe subsistemas definidos pelas

interações implicadas no trinômio CTS e suas correspondentes “reinvenções curriculares” no ensino de Ciências, com diferentes enfoques na Ciência, na Tecnologia ou na Sociedade.

Santos (2001, p.52) aponta que as perspectivas e propostas designadas por CTS englobam *“uma vasta gama de tendências e de correspondentes modalidades curriculares”*, todas com expressivas contribuições ao ensino de ciências. Ainda que não adotando uma concepção específica, dentro dessa diversidade, Santos (2001) identifica diferentes perspectivas, privilegiando cada uma das interações desse trinômio. Segundo essa autora, há aquelas propostas que privilegiam a natureza e a evolução das idéias da ciência (Cts), outras que dão maior ênfase aos aspectos tecnológicos (cTs) e, por fim, também aquelas que destacam os aspectos e impactos sociais (ctS). Embora seu trabalho refira-se ao ensino de ciências de forma geral, e não especificamente aos aspectos relacionados aos conteúdos de FMC, essa análise pode ser considerada como uma forma de sistematizar os objetivos que devem orientar a seleção de conteúdos desejada.

O reconhecimento da presença dos elementos e ênfases relacionados à tríade ciência-tecnologia-sociedade não é suficiente, no entanto, para uma inserção no campo de estudos e perspectivas caracterizado como CTS. Não significa, por enquanto, adotar uma ou mais, dentre as várias abordagens que vêm sendo propostas nesse âmbito (Aikenhead, 2003), mas reconhecer a relevância de contemplar essas três perspectivas.

Em síntese, compartilho com aquelas justificativas que consideram a importância desses conhecimentos para a compreensão do mundo contemporâneo, seja do ponto de vista da cultura científica e suas implicações sociais, seja visando à compreensão dos desenvolvimentos tecnológicos que permeiam nosso cotidiano, ou

mesmo para apresentar a natureza do próprio conhecimento científico e as transformações introduzidas pelas novas formas de investigação da ciência.

Essa diversidade de objetivos, e sua organização em torno dessas três ênfases, irá orientar nossas análises futuras, tanto dos livros didáticos como das propostas de inserção da FMC no EM.

CAPÍTULO 2

A Física Moderna nos livros didáticos do Ensino Médio

Como vimos no capítulo anterior, apesar da aparente unanimidade em relação à necessidade da inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio (EM), as considerações que vêm sendo apresentadas para justificá-las, assim como as próprias propostas delineadas, têm se mostrado diversificadas, expressando diferentes expectativas quanto ao papel que a introdução desses temas pode vir a ter na educação científica dos jovens ao final de sua escolaridade básica.

A identificação e análise dessa diversidade é parte do processo de reflexão sobre esses temas, já que manifesta os vários âmbitos e aspectos envolvidos, muitas vezes complementares, respondendo também a diferentes objetivos formativos, em momentos e situações específicos, transformados em objeto de atenção ao longo dessa complexa atividade que é o processo educativo.

Paralelamente, a introdução dos temas de Física Moderna nos livros didáticos de ensino médio, ao buscar responder às novas demandas, vai aos poucos estabelecendo e consolidando determinadas tendências através da forma e do tratamento adotado, expressas tanto pela seleção de conteúdos introduzidos, como pela natureza das abordagens incorporadas. Isso é particularmente relevante se considerarmos que a maioria das edições de livros didáticos de Física voltados ao ensino médio, colocadas no

mercado a partir de 2001, insere algum capítulo ou sub-capítulo sobre esses conteúdos. Além disso, começam a surgir também publicações dirigidas para estudantes do ensino médio que tratam especificamente de Física Moderna, como é o caso de Braz Júnior (2002).

Nosso objetivo no presente capítulo é investigar em que medida e em quais aspectos as tendências que começam a se estabelecer através dos livros didáticos respondem (ou não) às expectativas da comunidade de Ensino de Física, expressas em seus diferentes trabalhos, assim como aos objetivos formativos apontados nas diretrizes e nos parâmetros curriculares para o ensino médio, através das competências e habilidades a serem promovidas.

Essa análise dos livros didáticos nos parece importante tanto para situar, de um ponto de vista mais geral, a direção e perspectiva com que está ocorrendo a inserção desses novos temas, como também, mais especificamente, para indicar eventuais lacunas e distorções a serem superadas em propostas futuras, como as que pretendemos realizar.

2.1- Estratégia de análise

Muitos autores pesquisaram a questão do livro didático, particularmente, na área de física. Wu (2000) examina, em seu livro³, a relação entre o “saber da ciência física” e sua apropriação pela educação no Ensino Médio, verificando como o conhecimento da Física está disposto nos livros didáticos de física. Sua pesquisa não tem foco específico na inserção da FMC, mas ao analisar alguns aspectos, como a abrangência do conteúdo, tece alguns comentários a respeito dessa temática.

³ Neste livro, originado de sua dissertação de mestrado, Wu discute a transposição didática, assumindo uma posição crítica em relação ao conceito.

No âmbito desse trabalho, analisamos o conhecimento de FMC presente nos livros, com o foco na questão da seleção e organização dos conteúdos. Essa perspectiva tem em vista que cada livro, ao estabelecer uma proposta, através da escolha e seqüência dos temas que apresenta, consolida uma maneira de abordar o conhecimento escolar que, de certa forma, influencia o ensino tanto no que diz respeito ao trabalho do professor em sala de aula quanto aos objetivos formativos que possibilita.

Na busca de uma estratégia que permitisse caracterizar as seleções de conteúdos abordados, optamos por estabelecer uma correspondência com os níveis de articulação propostos pelas considerações referentes à Transposição Didática (Chevallard, 1998). Nesse sentido, consideramos os livros didáticos como representação do *saber a ser ensinado*, confrontando-os com o *saber de referência*, representado pelo conjunto de conhecimentos reconhecidos como de Física Moderna pela comunidade científica, através de procedimentos que detalharemos mais adiante.

Assim, em uma primeira etapa de análise, e visando a caracterização da seleção de conteúdos, analisamos a presença/ausência de temas e tópicos, seqüência, extensão e formas de abordagem do conteúdo de FMC nos livros de ensino médio.

Em uma segunda etapa, tendo presente essa caracterização e buscando aprofundá-la, pretendemos confrontá-la com as diferentes justificativas que apresentamos no Capítulo 1, e que vêm motivando a consolidação da introdução da FMC no EM.

Nessa etapa, restringimos nossa análise à abordagem, nesses livros, de dois temas específicos, respectivamente à temática relacionada à equação $E=mc^2$ e às abordagens da Física Nuclear. Em relação a esses dois temas, discutiremos as perspectivas que sua introdução vem assumindo frente às expectativas identificadas na área de ensino de física, no sentido de atualizar essa discussão e, eventualmente, identificar aspectos que mereçam especial atenção e superação.

Para compor uma amostra representativa, selecionamos nove livros didáticos de uso freqüente no Estado de São Paulo, a partir da nossa experiência e contato com professores do Ensino Médio, sendo a maioria deles de autores conhecidos e com vendagem expressiva: Bonjorno *et. al.*, 2003; Cabral e Lago, 2002; Carron e Guimarães, 2003; Gaspar, 2003; Ramalho *et. al.*, 2003; Sampaio e Calçada, 2003; Paraná, 2003 e Talavera *et. al.*, 2005. A Tabela 2.1 abaixo detalha as características dos livros escolhidos. Optamos por analisar a coleção em três volumes, quando disponível, para os casos dos livros que também tinham a versão em volume único.

Autor	Título	Editora	Ano
AMALDI	Imagens da Física: as idéias e as experiências, do pêndulo aos quarks (vol.único)	Scipione	1995
BONJORNO <i>et. al.</i>	Física: história & cotidiano 3	FTD	2003
CABRAL e LAGO	Física 3	Harbra	2002
CARRON e GUIMARÃES	Física - coleção base (vol. único-2ª ed.)	Moderna	2003
GASPAR	Física: Eletromagnetismo e Física Moderna 3 (1ª ed.)	Ática	2003
RAMALHO <i>et. al.</i>	Os fundamentos da física 3 (8ªed.)	Moderna	2003
SAMPAIO e CALÇADA	Física – coleção ensino médio atual (vol. único)	Atual	2003
SILVA (PARANÁ)	Física Paraná – série novo Ensino Médio (vol. único-6ª ed.)	Ática	2003
TALAVERA <i>et. al.</i>	Física (vol. único-1ª ed)	Nova Geração	2005

Tabela 2.1: Livros didáticos analisados de Ensino Médio.

A coleção do GREF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física) não está em nossa análise, pois a Física Moderna e Contemporânea, em sua proposta de ensino, é inserida ao longo da coleção de maneira pontual, conforme Wu (2000, p.71) “...*não há um capítulo exclusivo para a física da atualidade, que recebe um tratamento distribuído ao longo dos demais capítulos.*” e isso dificultaria a comparação com os outros livros

analisados. Pelo mesmo motivo, o livro⁴ Alvarenga e Máximo (1997) também não está incluso, pois conforme Wu (2000, p.71) este livro “...*não traz a física moderna em um capítulo a parte, ela encontra-se ‘pulverizada’ em breves considerações ao longo do texto...*”

Para organizar a coleta de dados, elaboramos fichas individuais⁵ dos livros selecionados, com as principais informações do exemplar, enfatizando a maneira pela qual a Física Moderna está inserida nesses livros. Com esse objetivo, explicitamos o número de capítulos, suas divisões, principais temas e conteúdos abordados, a extensão com que esses temas foram tratados, expressa pelo número de páginas destinadas à teoria, aos exercícios resolvidos e exercícios propostos, além de verificar a incidência ou não de *box* ou textos complementares de aprofundamento e atividades diferenciadas.

Visando estabelecer uma matriz de análise direta, que possibilitasse contrapor o “*saber a ser ensinado*” dos livros didáticos com o saber de referência, desenvolvemos uma abordagem de análise equivalente para o Tipler⁶ (2001), livro de Física Moderna do Ensino Superior. Para isso, elaboramos, da mesma maneira que fizemos para os livros do Ensino Médio, uma ficha individual detalhada desse livro.

A escolha desse procedimento de análise permite organizar os conteúdos abordados nos livros didáticos de Ensino Médio, pois percebemos que cada autor seleciona, ordena os conteúdos e nomeia os capítulos de maneira muito distinta, o que dificulta a identificação exata do que está sendo trabalhado.

Assim, para caracterizar o conteúdo tratado em cada livro, não nos ativemos apenas ao nome da seção ou capítulo, mas ao que de fato estava presente ao longo do texto. Dessa forma, os conteúdos e assuntos que aparecem nas fichas individuais de

⁴ ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio. Curso de Física, três vols. São Paulo: SCIPIONE, 1997.

⁵ Estas fichas encontram-se no anexo: Fichas individuais dos livros de Ensino Médio analisados

⁶ TIPLER, P. A., LLEWELLYN, R. A., Física Moderna, 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

cada livro do Ensino Médio não correspondem exatamente ao índice do livro em questão, pois para fazer uma comparação precisa, tivemos que separar alguns tópicos que tratavam de assuntos distintos e agregar outros que tratavam do mesmo assunto.

2.2- Seleção e organização dos conteúdos

Na busca de uma estratégia que permitisse caracterizar os conteúdos tratados, optamos por estabelecer uma correspondência com os níveis de articulação propostos pelas considerações referentes à Transposição Didática (Chevallard,1998). Este autor propõe que, no processo de ensino, se estabelecem diferentes níveis ou momentos, através dos quais o conhecimento é transformado em prática didática. Assim, reconhece a existência de três patamares de conhecimento, que incluem o *“saber sábio”*, o *“saber a ensinar”* e o *“saber ensinado”*.

O *“saber sábio”* é o conhecimento científico produzido por cientistas e intelectuais e se apresenta ao público através de publicações próprias ou de congressos específicos de cada área. Outro grupo composto por autores de livros, especialistas e professores, faz a Transposição Didática do *“saber sábio”* para o *“saber a ensinar”*. Filho *et. al.* (2001) destacam, em relação à Transposição Didática do *“saber sábio”* ao *“saber a ensinar”*, que:

No ensino secundário [...] vamos encontrar livros e manuais didáticos que não foram alvo de uma Transposição Didática ‘de fato’, mas que são apenas produto de uma ‘simplificação’ de conteúdo pertencente ao saber a ensinar. (FILHO *et. al.*, 2001, p.85)

Em relação ao ensino em sala de aula, ocorre novamente uma Transposição Didática realizada pelo professor, que transforma o *“saber a ensinar”* em *“saber ensinado”*. Assim, este autor considera o conteúdo dos livros didáticos como a base de um saber a ser ensinado, e é esse material didático que, muitas vezes, o professor do Ensino Médio tem como referência para a preparação de suas aulas.

Nesse sentido, nossa análise será desenvolvida buscando identificar como a seleção de conteúdos dos livros didáticos do Ensino Médio está relacionada com um saber de referência, que é, nesse caso, o conjunto de conhecimentos reconhecidos como de Física Moderna pela comunidade científica.

Com o intuito de operacionalizar essa comparação, optamos por tomar como referência do saber científico um livro didático de Física Moderna do Ensino Superior, conhecido como Tipler (2001), por ser um texto largamente utilizado em diversos cursos superiores de Física, incluindo aqueles que, na maioria das Universidades, envolvem a formação dos futuros professores, os quais irão lecionar no Ensino Médio. Esse livro representa, em nosso contexto, o conhecimento de referência, aquele reconhecido pela comunidade científica.

Optamos, inicialmente, por caracterizar a seleção de conteúdos que vem sendo adotada nesses livros, para procurar inferir os critérios implícitos nessa seleção. Além disso, investigamos a natureza das abordagens desses conteúdos, a partir de indicadores como a extensão e a profundidade com que os conceitos são tratados, as temáticas, o tipo de abordagem e a natureza dos exercícios resolvidos e propostos.

Para organizar os diversos conteúdos e caracterizar a seleção, elaboramos uma matriz de conteúdos identificada como saber de referência, à qual associamos, individualmente, os livros do Ensino Médio, no intuito de padronizar nossa análise e torná-la mais coerente. Para construir a matriz recorremos ao livro do Ensino Superior, Tipler (2001), transcrevemos o nome dos capítulos e seções, identificamos os assuntos presentes nos livros do Ensino Médio e associamos, individualmente, à seção ou seções nas quais o Tipler (2001) abordava tal conteúdo.

Com esses dados construímos uma tabela inicial da matriz de conteúdos, apresentada em anexo⁷. Na primeira coluna temos, na íntegra, o nome dos capítulos e os assuntos tratados no Tipler (2001) e nas colunas seguintes os livros de Ensino Médio analisados, aos quais associamos o conteúdo abordado em cada livro ao conteúdo de referência. Verificamos, em uma primeira análise, que alguns temas do livro de referência não comparecem nos livros de Ensino Médio analisados. Dessa maneira os capítulos 6, 8, 9 e 10 do livro de referência, que tratam, respectivamente, da Equação de Schrödinger, da Física estatística, da estrutura e espectro das moléculas e da Física do estado sólido estão ausentes.

Assim, optamos por simplificar essa tabela inicial, em anexo, excluindo todos os capítulos e tópicos não abordados pelos livros do Ensino Médio, para caracterizar a seleção de conteúdos e posteriormente sua abordagem específica, já que é esse o foco de nossa análise. Esse processo resultou na Tabela 2.2 abaixo⁸.

Livro de Referência	Livros didáticos do ensino médio							
	Amaldi (1995) Bonjorno et. al. (2003)	Cabral e Lago (2002)	Carron e Guimarães (2003)	Gaspar (2003)	Ramalho et. al. (2003)	Sampaio e Calçada (2003)	Paraná (2003)	Talavera et. al. (2005)
Tipler (2001)								
Capítulo 1: Relatividade								
Provas experimentais da Relatividade exp. Michelson e Morley		6			2			
Transformações de Galileu		6		3	1			
Os postulados de Einstein	1	1	7	1	5	3	1	11
A transformação de Lorentz					4			
Dilatação dos tempos		2	8	2	6	5	2	12
Contração das distâncias		2		2	4	5	2	12
Capítulo 2: Relatividade II								
Momento Relativístico		3		3	7	7	3	13
Energia Relativística	2	4	9	3	8	6	4	13

⁷ Essa tabela encontra-se no anexo: *Matriz completa dos conteúdos do livro de referência abordados nos livros de Ensino Médio*.

⁸ As linhas em destaque indicam os assuntos que estão presentes na maioria dos livros didáticos.

Conversão de Massa em Energia e a Energia de Ligação							5		
Relatividade Geral					9		6		5
Capítulo 3: Quantização da carga, Luz e energia									
Radiação do corpo negro	3	5	1		12		7	1	
Lei de Planck	3	5	1	4	12	8	7	4	1
O efeito fotoelétrico	4	6	2	5	1	9	8	5	2
Raios X				9	10			2	
Efeito Compton		7							
Capítulo 4: O Átomo Nuclear									
Espectros atômicos			3		14			3	
O modelo de Rutherford e o de Bohr	6	9	4	6	13	10	9	8	3
O Experimento de Franck-Hertz					15				
Capítulo 5: Propriedades ondulatórias das partículas									
A hipótese de Broglie					18	12	10	7	3
O princípio de indeterminação (Incerteza de Heisenberg)		10			20	13	12	9	
O dualismo onda-partícula	5	8	5		2	11	11	6	
Capítulo 7: A física atômica									
As funções de onda do átomo de hidrogênio (distribuição)					19				
O Spin do elétron					16				
Estados fundamentais dos átomos dos elementos: A tabela periódica (Pauli)	7				17				
Capítulo 11: Física Nuclear									
Propriedades do núcleo no estado fundamental e Energia de ligação	12			10	22				
Radioatividade (atividade, meia vida)	9			7		17			
Decaimento Alfa, Beta e Gama	8	11			11	16	13	14	
A força nuclear							13		
Capítulo 12: Reações nucleares e suas aplicações									
Reações nucleares	7			10	22				
Fissão e fusão	12	11		11	22	18	16	15	
Reatores nucleares	12	11		11		18			
Aplicações	11			8					
Capítulo 13: Física das partículas									
Partículas e antipartículas					21	14	14		
Leis de conservação e simetrias					21				
O modelo padrão	10				23	15	15	10	
Capítulo 14: Astrofísica e cosmologia									
As estrelas						9			

Tabela 2.2: Matriz simplificada de conteúdos (Conteúdos do livro de referência abordados nos livros de Ensino Médio)

A numeração indica a seqüência que cada autor escolheu para tratar os assuntos, como está detalhado nas fichas individuais, pois pretendemos verificar a relação existente, ou não, entre a seqüência seguida pelos autores nos livros do Ensino Médio

com a sequência estabelecida no Tipler (2001). Pretendemos, também, verificar até que ponto os conteúdos, assuntos e o tipo de abordagem com que os livros do Ensino Médio apresentam a Física Moderna e Contemporânea estão relacionados ao livro de referência do Ensino Superior.

Inicialmente, realizamos uma análise que denominamos de temática, na qual procuramos detalhar os temas abordados nos livros de Ensino Médio. Para isso escolhemos alguns indicadores como o conteúdo abordado, que apenas se restringe ao fato do assunto estar sendo tratado pelo livro ou não, a sequência escolhida pelo autor, a extensão e o tipo da abordagem, que relaciona apenas a quantidade de páginas a que cada autor destina a teoria e exercícios. No entanto, este número de páginas não diz respeito, necessariamente, ao aprofundamento conceitual da abordagem, esse aspecto será discutido posteriormente.

2.2.1- Temas e tópicos

Foram destacados, a partir da análise dos dados da Tabela 2.2, os conteúdos presentes na maior parte dos livros de Ensino Médio analisados. É possível identificar a presença de três temas principais, embora abordados em diferentes níveis, que correspondem à Relatividade, Quantização da Energia e Física Nuclear, com exceção dos livros de Talavera *et. al.* (2005) e Cabral e Lago (2002) que não tratam, especificamente, da Física Nuclear. Para uma melhor identificação das escolhas dos conteúdos, o Gráfico 2.1 apresenta a frequência, em porcentagem, com que os principais tópicos compõem nos livros.

Em uma análise mais pormenorizada podemos, também, identificar alguns tópicos que são abordados em todos os livros, dentro desses três temas principais. *Energia Relativística, Lei de Planck, Efeito Fotoelétrico, Modelo de Rutherford e de Bohr.* O tópico

dilatação do tempo está presente em 89% dos livros. *Fissão nuclear, fusão nuclear, momento relativístico e dualidade onda-partícula* estão presentes em 78%. *Contração do comprimento, radiação do corpo negro e decaimentos alfa, beta e gama* estão presentes em 67%. A *hipótese de De Broglie, o princípio de incerteza de Heisenberg e modelo padrão* estão presentes em 56%. *Reatores nucleares* em 44% dos livros.

Gráfico 1.1: Assuntos mais abordados em termos da porcentagem de livros didáticos em que estão presentes

Há ainda outros tópicos que comparecem em menos da metade da amostra. Alguns conteúdos como: *transformações de Galileu, transformação de Lorentz, relatividade geral, raios X, espectros atômicos, energia de ligação, radioatividade (atividade, meia-vida), reações nucleares, partículas e antipartículas* estão presentes em 33% dos livros analisados. Temos ainda outros assuntos que são inseridos em poucos livros, como a *experiência de Michelson e Morley, aplicações da energia nuclear e o princípio de Pauli*, presentes em 22% dos livros analisados. Os conteúdos *spin do elétron, distribuição espacial dos elétrons (orbitais), o experimento de Franck-Hertz, o Efeito Compton e as estrelas* estão presentes apenas em 11% dos livros.

2.2.2- Seqüência, extensão e forma de abordagem

Outro fator que pode caracterizar a abordagem do conteúdo de FMC de cada livro é a seqüência pela qual os vários temas são apresentados. Na Tabela 2.2, na qual relacionamos o conteúdo abordado em cada livro do Ensino Médio ao livro de referência, numeramos a ordem que o autor escolheu para tratar os assuntos. Com essa numeração podemos verificar que cinco livros, ou seja, mais da metade dos livros analisados, desenvolvem os assuntos seguindo exatamente a mesma seqüência do livro de referência, não apenas em relação aos tópicos e assuntos abordados, mas também em relação à ordem dos capítulos.

Essa seqüência inicia com a *Relatividade*, passa para a *Quantização da Energia* e termina com a *Física Nuclear*. Percebemos também que 33% dos livros mantêm a mesma seqüência dos assuntos abordados, invertendo apenas a posição dos capítulos, introduzindo a FMC com a *Quantização da Energia*. Um único livro (11% do total) apresenta uma seqüência diversificada e mantém, apenas ao abordar a *Relatividade*, uma ordem semelhante à do livro de referência. Isso sinaliza que foi feita uma transposição ou simplificação do livro de referência, em relação à escolha dos conteúdos, na maioria dos livros.

Entendemos que a extensão com que esses temas foram tratados, expressa pelo número de páginas, pode servir como um indicador preliminar do nível de aprofundamento das questões abordadas em cada livro. Temos no Gráfico 2.2 uma comparação, em números absolutos, da quantidade total de páginas destinadas ao conjunto teoria, exercícios resolvidos e exercícios propostos aos alunos, em cada livro ao abordar a FMC.

Gráfico 2.2: Número absolutos de páginas destinadas à Física Moderna e Contemporânea em cada livro.

Percebemos Gaspar (2003) destina o maior número de páginas para tratar a FMC, seguido por Ramalho *et. al.* (2003) que destina 53 páginas. Já 44% dos livros analisados destinam entre 29 a 34 páginas, enquanto 33% dos livros destinam 21 páginas ou menos à FMC. De certa forma, a análise da extensão depende da abordagem realizada em cada caso, mas, acreditamos que, esses valores absolutos também são importantes, na medida em que refletem a atenção dada ao tema como um todo.

Para estabelecer uma primeira aproximação em relação ao tipo de abordagem adotado em cada caso, optamos, inicialmente, por analisar a porcentagem do texto que cada livro destina, nos capítulos que tratam a FMC, à teoria e aos exercícios. Esses dados são apresentados no Gráfico 2.3.

Gráfico 2.3: Porcentagem de páginas destinadas à teoria e exercícios.

Podemos percebermos no Gráfico 2.3, que três livros destinam mais de 34% de seu conteúdo total aos exercícios, considerando tanto os exercícios resolvidos como os propostos e quatro livros destinam entre 23 a 30%. Apenas dois livros destoam um pouco disso, Sampaio e Calçada (2003) destinam apenas 11% e Amaldi (1995) não tem exercícios propostos. Em relação a esse último, é possível que a ausência de exercícios decorra do fato de ter sido um dos primeiros livros a introduzir a FMC no EM, em uma época que essa tendência ainda não estava difundida.

No Gráfico 2.4 mostramos a porcentagem destinada aos exercícios em duas categorias, exercícios ou exemplos resolvidos e exercícios propostos. Percebemos uma predominância, na maior parte dos livros, aos exercícios propostos.

Gráfico 2.4: Porcentagem de páginas destinadas à teoria, aos exercícios (ou exemplos) resolvidos e aos exercícios propostos em cada livro didático.

2.3- Ênfases e justificativas implícitas

No capítulo anterior identificamos, no conjunto de justificativas para a inserção da FMC no EM, tal como encontradas nas discussões da área de pesquisa em Ensino de Física, três ênfases principais: Ciência-Tecnologia-Sociedade. Cria-se a expectativa, portanto, de que, nas propostas concretas para o ensino médio, assim como nos livros-texto, venham a ser contempladas seleções de conteúdos com formas e abordagens diferenciadas, permitindo explorar o tema de maneira ampla, incluindo aspectos tecnológicos e sociais, além dos científicos, de forma a contemplar as várias motivações que justificam sua relevância.

Para realizar uma análise mais específica da abordagem, optamos por centrar em dois temas específicos, para aprofundarmos e detalharmos o tratamento que cada autor realizou. Os dois assuntos escolhidos foram a equação $E=mc^2$ e a *Física Nuclear*, pelo fato de corresponderem às temáticas das intervenções que realizamos.

É bom evidenciar que esses dois temas são de naturezas diferentes, o que implica que o tipo de análise e as possíveis conclusões a serem obtidas são diferenciadas. A equação $E=mc^2$ não constitui um corpo de conhecimento mais amplo como a *Física Nuclear*, que normalmente é abordada em um capítulo específico e embasada em teorias e conceitos. Dessa maneira a análise da equação $E=mc^2$ será realizada evidenciando apenas os aspectos científicos e conceituais que cada autor escolhe ao abordá-la. Já ao analisar a *Física Nuclear*, buscamos identificar não só os aspectos conceituais, mas também os tecnológicos e sociais, assim como as articulações internas entre esses aspectos.

Analizamos, com maior atenção, algumas características do texto tais como o contexto em que o tema está inserido, a presença de deduções ou fórmulas matemáticas, as ilustrações, *box* ou quadros-resumo, a coerência entre os exercícios propostos e a parte teórica tratada sobre o assunto.

Ressaltamos o fato de que alguns autores dos livros didáticos de ensino médio escolhem um determinado assunto para desenvolver com maior profundidade. Portanto, o fato do livro ter deixado de lado um desses dois assuntos, numa análise mais específica, ou tê-los tratados de maneira superficial não necessariamente desqualifica o livro.

2.3.1- A Equação $E=mc^2$

Amaldi (1995) insere a equação $E=mc^2$ no capítulo 1: *A Relatividade e os quanta*, na seção *Teoria da relatividade restrita*, que inicia discutindo a questão da invariância da velocidade da luz. A seqüência que o autor segue ao abordar a Relatividade é bem diferente dos demais. Amaldi (1995, p.402) se propõe apenas a descrever a equação $E=mc^2$, mas "*sem pretender explicá-la teoricamente*". Refere-se à equação como "*equivalência massa-energia*", afirmando que massa é uma forma de energia, pois "*ela pode surgir contanto que desapareça energia*". Amaldi (1995, p.403) afirma que "a

equivalência massa-energia é uma lei da natureza válida em todas as situações, inclusive nos fenômenos explicáveis pela Física clássica.” Discute o fato da variação de massa ser muito pequena nas reações químicas diferentemente do que acontece nas reações nucleares. Não são propostos nem resolvidos exercícios neste capítulo.

Bonjorno *et. al.* (2003, p.322) inserem a equação $E=mc^2$ no capítulo 18: *Teoria da relatividade especial*, que inicia com os postulados da relatividade restrita, segue com a dilatação do tempo e a contração do comprimento, quantidade de movimento e massa relativísticas. A equação é apresentada na seção “equivalência entre massa e energia”, como “*a consequência mais importante da teoria da relatividade restrita*”, logo após a definição da massa relativística $m_R = m_0/\sqrt{1 - (v^2 / c^2)}$, enfatizando a “*equivalência e a proporcionalidade*” entre massa e energia da seguinte forma: “*A energia equivalente à massa que fica aprisionada no próprio corpo*”, e ainda “*de acordo com Einstein, a energia cinética de partículas a elevadíssimas velocidades se transforma em massa*”, o que não condiz com o significado conceitual adequado. Bonjorno *et. al.* (2003, p.345) retomam a equação $E=mc^2$ no capítulo 20: *Radioatividade* na seção “*fusão nuclear*”, com a questão “*a energia do Sol pode acabar?*” Propõem, entre outras aplicações da relação $E=mc^2$, o cálculo da diminuição da massa do sol por segundo, e concluem com a afirmação: “*Einstein, em 1905, formulou a Teoria da Relatividade, mostrando que massa (matéria) pode se transformar em energia e vice-versa*”.

Cabral e Lago (2002, p.516) inserem a equação $E = mc^2$ no capítulo 12, na seção: *Teoria da Relatividade*, que inicia com os postulados da Relatividade Restrita, o experimento de Michelson e Morley, noções de simultaneidade, dilatação do tempo e massa relativística. A equação $E = mc^2$ é apresentada na seção *Matéria e Energia*, após a definição da massa relativística com a equação $m_R = m_0/\sqrt{1 - (v^2 / c^2)}$ e do gráfico m/m_0 X v/c , em um parágrafo “informativo”, sem uma discussão conceitual, com as seguintes

frases: “Einstein mostrou que a massa e energia são equivalentes e que em determinadas situações a massa pode ser transformada em energia e vice-versa” e depois de inserir a equação $E = mc^2$ destacam que “esta relação significa que massa e energia são o mesmo tipo de grandeza, podendo ser convertida uma na outra”. Nos exercícios são solicitadas aplicações numéricas da relação $E = mc^2$.

Carron e Guimarães (2003, p.304) inserem a equação $E = mc^2$ no capítulo 35: *Relatividade e Física Atômica*, que inicia com noções de simultaneidade, dilatação do tempo, contração do comprimento e massa relativística. A equação $E = mc^2$ é inserida na seção *Dinâmica Relativística*, logo após a equação $m_R = m_0 / \sqrt{1 - (v^2 / c^2)}$ enfatizando que “essa alteração na inércia de uma partícula não significa aumento da quantidade de matéria” e considera a equação $E = mc^2$ como “uma conclusão muito importante da relatividade”, explicando que “essa expressão é usada para calcular a transformação de massa em energia e constitui a chave para a compreensão da energia nuclear”. Carron e Guimarães (2003, p.316) retomam a equação $E = mc^2$ no capítulo 36: *Radioatividade e Física Nuclear*, na seção *Reações Nucleares* afirmando que “nas reações nucleares, as transformações de massa em energia estão sempre presentes. Assim nessas reações, é de uso fundamental a equação de Einstein $E = mc^2$ ”. Propõem exercícios de aplicações numéricas da relação $E = mc^2$.

Gaspar (2003, p.320) insere a equação $E = mc^2$ no capítulo 12: *Relatividade*, em que aborda conteúdos sobre as transformações galileanas, o éter, o experimento de Michelson e Morley, os postulados da relatividade restrita, simultaneidade, dilatação do tempo, contração do comprimento, quantidade de movimento e massa relativística. A equação é introduzida na seção *Energia Relativística* afirmando que “um corpo tem energia mesmo em repouso, apenas porque tem massa [...] em outras palavras, massa é energia, e o valor c^2 pode ser entendido apenas como um fator de transformação entre

essas grandezas”. O autor finaliza afirmando que massa e energia podem ser “*entendidas agora como uma só grandeza: massa-energia*”. São propostos exercícios de aplicação numérica da relação $E = mc^2$.

Ramalho *et. al.* (2003, p.392) inserem a equação $E = mc^2$ no capítulo 18: *Relatividade Especial*, que aborda os postulados da relatividade restrita, simultaneidade, o experimento de Michelson e Morley, contração do comprimento, dilatação do tempo. Introduz a equação na seção *Massa e Energia*, após apresentar a equação da massa relativística $m_R = m_0 / \sqrt{1 - (v^2 / c^2)}$, justificando que Einstein propõe a equação para que o princípio da conservação da quantidade de movimento continue válido no “*domínio de colisões interatômicas*”. Em relação à abordagem conceitual, os autores apresentam afirmações atribuídas ao próprio Einstein sem, contudo, discuti-las, e não informam a fonte de referência. Afirmam que ocorre “*a conversão de massa em energia*” e propõem muitos exercícios de aplicação numérica da relação $E = mc^2$. Ramalho *et. al.* (2003, p.429) retomam a equação $E = mc^2$ no capítulo 20: *Física Nuclear* ao abordar a fusão nuclear afirmando que “*a Energia de ligação do núcleo pode, então, ser calculada pela equação de Einstein*”.

Sampaio e Calçada (2003, p.396) inserem a equação $E = mc^2$ no capítulo 72: *A Teoria da Relatividade* que inicia com referenciais inerciais, postulados da relatividade, dilatação do tempo, contração do comprimento, massa relativística. Ao definir massa relativística pela mesma expressão que os demais, destacam que “*o que aumenta com a velocidade não é a quantidade de matéria do corpo (massa não é matéria!), mas sim sua massa, a qual mede a inércia do corpo*”. A equação $E = mc^2$ é inserida na seção *Massa e Energia* com uma ressalva “*o significado dessa equação, contudo, é bem mais complexo do que pode parecer à primeira vista [...] Einstein mostrou que a Energia tem inércia, isto é, a energia tem massa*” e incluem exemplos como: “*a massa de um tijolo quente é maior*

do que a de um tijolo frio”. Sampaio e Calçada (2003, p.398) também discutem a validade “aproximada” da lei da conservação da massa de Lavoisier e dedicam o tópico “*Um grande equívoco*” à discussão da idéia de conversão e equivalência explicando que: “*não há conversão de energia em massa (ou vice-versa) [...] outra noção que deve ser evitada é a da equivalência entre massa e energia, o que não é verdade*”. Sampaio e Calçada (2003, p.399) discutem os conceitos de matéria e radiação afirmando que “*o que existe é transformação de matéria em radiação ou de radiação em matéria; a massa não se transforma em nada*”. A equação é retomada ao tratar de *fusão nuclear*. Nesse livro, ainda que os conceitos relacionados à equação sejam discutidos com detalhes, o que não acontece nos outros livros analisados, os exercícios propostos também se limitam à aplicação numérica da relação $E = mc^2$.

Paraná (2003, p.331) insere a equação $E = mc^2$ no módulo 73: *Relatividade*, que inicia com os postulados da relatividade, simultaneidade, dilatação do tempo, contração do comprimento, quantidade de movimento e massa relativística. A equação $E = mc^2$ é inserida após a expressão da massa relativística, sem qualquer discussão conceitual. Paraná (2003, p.330) apenas afirma que “*a massa pode ser considerada uma forma de energia e que energia e massa podem ser convertidas uma na outra*”. Em seguida propõe uma série de exercícios de aplicações numéricas envolvendo a equação. Paraná (2003, p.335) retoma a equação $E = mc^2$ no módulo 74: *Radioatividade* ao tratar de fissão nuclear, concluindo que “*esse fato confirmou a equação $E=mc^2$ de Einstein*”.

Talavera *et. al.* (2005, p.496) insere a equação $E=mc^2$ na introdução do capítulo 2: *A Teoria da Relatividade*, após comentar sobre o experimento de Michelson e Morley, de maneira bem superficial, em apenas um parágrafo, afirmando que a teoria da relatividade implica na “*não conservação da energia e da matéria, mas considera essas duas grandezas como duas manifestações de uma mesma entidade, estabelecendo a*

equivalência entre elas”. Talavera *et. al.* (2005, p.491) retoma a equação $E=mc^2$ afirmando que “*ela conseguiu explicar a até então misteriosa fonte de energia que alimenta nosso sol.*”

Em síntese, essa análise mostra que todos os livros inserem a relação $E=mc^2$ em um capítulo sobre *Relatividade*, seguindo uma mesma sequência de “pré-requisitos”. De algum modo, todos estabelecem uma relação dessa expressão com a *Física Nuclear*. Apenas Amaldi (1995) não propõe ou resolve exercícios envolvendo a equação $E=mc^2$.

Amaldi (1995) e Sampaio e Calçada (2003) discutem a questão da conservação da massa, o fato da variação de massa nas reações químicas ser muito pequena, e o âmbito e a validade da equação $E=mc^2$. Todos os livros, com exceção de Sampaio e Calçada (2003), consideram a massa equivalente à energia.

Sampaio e Calçada (2003) inserem a equação $E=mc^2$ de uma maneira interessante, com cuidado na abordagem conceitual, discutindo a questão da conversão e da equivalência entre massa e energia e entre matéria e radiação, o que não acontece nos demais livros analisados.

2.3.2- A Física Nuclear

Nosso principal objetivo ao analisar a inserção do tema *Física Nuclear* foi avaliar de que forma as três diferentes perspectivas Científica, Tecnológica e Social podem estar presentes, simultaneamente e de forma mais ou menos articulada, nesse conteúdo específico de Física Moderna.

Dentre o conjunto de conteúdos de FMC, optamos por abordar especificamente a Física Nuclear, dado o seu potencial para discutir questões de relevância social no mundo

contemporâneo. Por se tratar de assunto atual, em alguns aspectos polêmico e controverso, a sua inserção no EM pode trazer novos conhecimentos de Física, possibilitando que os alunos lidem com informações veiculadas pela mídia e adquiram capacidade para compreender, questionar e posicionar-se, especialmente em relação ao controvertido debate relacionado ao uso da energia nuclear.

Buscamos, em cada livro, localizar e descrever detalhadamente a inserção desse tema. Desenvolvemos duas etapas. Na primeira etapa, investigamos a maneira geral pela qual a Física Nuclear é introduzida, quais conceitos são inseridos e em qual ordem, como e com qual profundidade os conceitos são abordados, quantas páginas são destinadas ao tratamento do tema, a presença de figuras, tabelas, *box*, fotos, a quantidade de exercícios resolvidos e propostos, o uso de analogias e sua relação com o que é abordado no livro como um todo. Em uma segunda etapa, procuramos identificar a relação entre os conteúdos abordados e as dimensões científicas, tecnológicas e sociais que poderiam nortear a inserção desse tema no Ensino Médio.

Dois dos livros analisados, Cabral e Lago (2002) e Talavera *et. al.* (2005), não possuem um capítulo específico para tratar da Física Nuclear, e também não propõem exercícios ou exemplos relacionados ao tema.

Uma análise mais minuciosa do livro de Cabral e Lago (2002, p.518) nos mostrou que são realizadas, rapidamente, menções ao tema em duas ocasiões, ambas em forma de *box* pequenos. A primeira está inserida na seção “*Matéria e Energia*”, logo após apresentar a equação $E=mc^2$, em um *box* que inclui a foto da Usina de Angra dos Reis, onde apresentam um pequeno parágrafo: “*Existem vários experimentos onde a equivalência massa-energia foi demonstrada [...] é o que ocorre na geração de energia nuclear...*”. Na segunda breve menção, o assunto aparece também em um *box*, com uma

definição de reações termonucleares, inserido em um tópico especial sobre a formação do Universo.

Talavera *et. al.* (2005, p.491) mencionam a Física Nuclear também em um *box*, inserido abaixo da equação $E=mc^2$, em uma ilustração do núcleo do Sol, e afirmam que nele ocorrem reações de fusão nuclear, com "*desaparecimento de massa*".

Da mesma maneira, Sampaio e Calçada (2003) optaram por não destinar um capítulo específico para abordar a Física Nuclear, inserindo alguns aspectos do tema no capítulo sobre *Partículas Elementares*. Não os colocamos, contudo, no "mesmo grupo" que Cabral e Lago (2002) e Talavera *et. al.* (2005), pois em Sampaio e Calçada (2003) a Física Nuclear está de fato inserida. Comparativamente ao tratamento dado para a equação $E=mc^2$, abordada em detalhes, como discutido anteriormente, a Física Nuclear ficou em segundo plano, tendo como foco, neste livro, a discussão sobre partículas elementares e a energia envolvida no processo.

Outros dois livros, Amaldi (1995) e Gaspar (2003), realizam um tratamento diferenciado do tema, por diferentes motivos.

Amaldi (1995) insere a Física Nuclear, no capítulo denominado *Radiatividade, Fissão e Fusão Nuclear*, em 20 páginas destinadas à teoria. Realiza uma abordagem extensa, tratando de diversos aspectos, e não possui exercícios propostos ou resolvidos, característica que se mantém durante todo o tratamento da Física Moderna e Contemporânea. Percebemos que Amaldi (1995) possui uma abordagem bem diferenciada, quando comparado com os outros livros. Mantém-se aqui a hipótese já apresentada, que essas diferenças podem estar ligadas ao fato desse livro ter sido um dos primeiros a introduzir a FMC no EM. O autor demonstra uma grande preocupação ao inserir os conceitos, faz uma abordagem histórica, sempre explicando em detalhes o processo ou suas conseqüências. Não apresenta definições em destaques ao longo do

texto, como é comum nos outros livros. A maneira como o autor apresenta o assunto "se aproxima de uma conversa" sobre o que está sendo discutido.

Ao tratar de *decaimento*, inserido o gráfico da curva de decaimento com o conceito de meia vida, Amaldi (1995) discute apenas qualitativamente a questão, e não insere qualquer fórmula ou relação matemática, como as que costumam estar presentes nos demais livros. Ao tratar do decaimento beta, por exemplo, apresenta a questão sobre de "onde está surgindo esse elétron". Nos outros livros, temos apenas a definição dos três tipos de "radiação", não deixando evidente ou discutindo a questão, o que faz com que os leitores (alunos) possam não perceber ao menos a "incoerência" do fato de um elétron ter "saído" do núcleo.

Outro diferencial desse livro está relacionado à questão da diferenciação entre a transmutação artificial e decaimento natural. Ao tratar da radiação gama, o autor nomeia como "fótons gama", e realiza uma comparação da ordem de grandeza da energia desse fóton, de origem nuclear, com um fóton decorrente do decaimento de um elétron. Ao inserir uma figura de um reator nuclear Amaldi (1995, p.425) ressalta o fato de que o Plutônio *"nos países que constroem armamentos nucleares, é produzido em reatores apropriados e utilizado para a construção de bombas."* No tópico *opção nuclear* destaca *"os três problemas básicos"* que um país deve levar em consideração ao inserir em sua produção energética reatores a fissão, os acidentes nucleares, *"o armazenamento de radioisótopos de longa vida extraídos das barras de combustível após o resfriamento, o chamado lixo atômico"* (Amaldi, 1995, p.426). Ao abordar os acidentes nucleares, fala rapidamente sobre o acidente de Chernobyl.

Gaspar (2003) insere a Física Nuclear no capítulo 13, de uma maneira muito distinta dos outros livros, pois como o autor cita nas linhas de rodapé, esse capítulo

baseia-se, quase na íntegra, no livro⁹ *Dos raios X aos quarks*, de Emílio Segré. Assim, a sequência seguida ao longo do capítulo, pelo fato de ser baseado em um livro que não possui a mesma finalidade de um livro didático de Ensino Médio, é diferenciada. Essa abordagem destoa da maneira que o autor aborda os outros assuntos de Física Moderna e Contemporânea.

Na introdução do capítulo 13, Gaspar (2003, p.327) explicita que nos dois capítulos finais irá *"fazer uma abordagem um pouco diferente [...] dando prioridade à história das idéias e descobertas que revolucionaram a física do final do século XIX às primeiras décadas do século XX."* Em um *box* de aprofundamento, denominado *"Fissão nuclear: Energia de guerra e paz?"*, insere um gráfico dos elementos resultantes da fissão do Urânio-235, chamando atenção para o fato de que *"muitos desses elementos são radioativos"*. Trata também da reação em cadeia ilustrando o processo e como aplicação da fissão, para uma massa de Urânio 235 pequena.

Gaspar (2003, p.374), ao citar as usinas nucleares afirma que *"todos os problemas tecnológicos de geração e controle dessa energia estão resolvidos, com uma única e grave exceção: o lixo radioativo"*, explicando os motivos relacionados ao seu armazenamento. Percebemos a preocupação do autor com a questão do lixo atômico, evidenciando a problemática relacionada às usinas nucleares. Contudo, isso não significa necessariamente que o aluno possa entender de fato a questão, pois o tratamento da física, na parte teórica, foi deixado de lado para se valorizar o aspecto histórico. Ao mesmo tempo, apesar de ter abordagem diferenciada, em que o autor privilegia aspectos históricos, insere dois exercícios resolvidos, que destoam do intuito explicitado pelo autor na introdução do capítulo.

⁹ SEGRÉ, Emílio. *Dos raios X aos quarks*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1987.

Pelos motivos expostos, os livros Cabral e Lago (2002), Talavera *et. al.* (2005), Amaldi (1995) e Gaspar (2003) não poderiam estar presentes em uma comparação mais precisa sobre a temática Física Nuclear, por apresentarem características distintas.

Essa primeira análise indica que, além do tema Física Nuclear não estar presente em todos os livros analisados, esse não é um assunto privilegiado, dentre os assuntos de FMC abordados. Podemos verificar esse aspecto no Gráfico 2.5, que apresenta o número de páginas destinadas à FMC e à Física Nuclear (FN), em cada uma das obras. Esses dados indicam que apenas em um dos livros analisados, Carron e Lago (2002), o assunto

Física Nuclear ocupa mais do que 50% do espaço destinado ao tratamento da FMC.

Gráfico 2.5: Número absoluto de páginas teóricas destinadas a FMC e a FN

Construímos, inicialmente, para os cinco livros restantes, a Tabela 2.3 que indica o número de páginas destinadas à teoria, aos exercícios resolvidos e propostos, o nome do capítulo em que o tema foi inserido, os assuntos presentes e a ordem seguida, ao tratá-los. Em relação à sequência escolhida pelos autores para tratar do tema, podemos perceber que a maioria dos livros inicia o tratamento da Física Nuclear com a descoberta

da radioatividade, seguindo o processo das descobertas históricas. De uma maneira geral, todos tratam das emissões alfa, beta e gama e mencionam a fusão e a fissão, mas nem todos abordam a atividade e meia-vida.

Livro	Bonjorno <i>et. al.</i> (2003)	Carron e Guimarães (2003)	Ramalho <i>et. al.</i> (2003)	Sampaio e Calçada (2003)	Paraná (2003)
Pág. teoria	4	8	7	4	2
Pág. exerc.	2	3	4,5	0,5	0
Nome do capítulo	<i>Física Nuclear</i>	<i>Radioatividade e Física Nuclear</i>	<i>Física Nuclear</i>	<i>Partículas elementares</i>	<i>Radioatividade</i>
Assuntos presentes nos livros e a ordem seguida	radioatividade três tipos de emissões: alfa, beta e gama fusão nuclear fissão nuclear reação em cadeia bomba atômica usina nuclear lixo atômico	radioatividade número de massa isótopos tipos de emissões Alfa, Beta e Gama Atividade e meia-vida aplicações da radioatividade Raios X radiações ionizantes reações nucleares força nuclear forte equação $E=mc^2$ energia de lig. fissão nuclear fusão Box (radiocirurgia)	noções de radioatividade descoberta dos raios X reações nucleares emissões alfa e beta gama atividade /constante de desintegração/ vida média /meia vida fissão nuclear reação em cadeia usinas nucleares poluição nuclear, lixo atômico fusão nuclear força nuclear forte , energia de lig. do núcleo nascimento, vida e morte de uma estrela	o átomo e isótopos força nuclear. fusão nuclear equação $E=mc^2$ energia de ligação e coesão nuclear fissão nuclear reação em cadeia reatores nucleares bomba atômica	descoberta de Bequerel desintegrações os três tipos de radiações: alfa, beta e gama fissão nuclear equação $E=mc^2$ força nuclear fusão nuclear

Tabela 2.3: Principais características dos cinco livros selecionados

O fato de um determinado assunto estar apenas presente em um livro, não representa, contudo, um critério preciso para a análise. Precisamos verificar em que nível e de que maneira eles foram abordados pelo autor, qual o tipo de tratamento realizado e quais foram os aspectos privilegiados. A partir dessas escolhas, identificamos se os autores apenas citam, definem ou apresentam os conteúdos embasados no conhecimento físico, ou ainda, se tais conteúdos são apenas inseridos em figuras, fotos,

representações ou equações desconexas do texto, ou mesmo não justificadas ou embasadas na teoria física abordada pelo autor.

Atividades propostas

Um indicador para os objetivos esperados de cada abordagem é a natureza dos exercícios e atividades que se espera que os alunos desenvolvam.

Ramalho *et. al.* (2003) destinam sete páginas à teoria e quatro páginas e meia aos exercícios propostos e resolvidos. Percebemos que esses autores consideram as aplicações importantes, pelo fato de destinar mais da metade das páginas relacionadas à teoria para propor ou resolver exercícios, sendo a maioria de aplicações numéricas. Ao introduzir a relação numérica entre a meia vida e a vida média, resolvem dois exercícios em que é solicitada apenas a aplicação das relações matemáticas apresentadas na parte teórica e propõem mais dois exercícios praticamente idênticos aos resolvidos. No final do capítulo, propõem dezenove exercícios, privilegiando o aspecto quantitativo, com aplicações de fórmulas.

Da mesma maneira, Bonjorno *et. al.* (2003) inserem a Física Nuclear em quatro páginas destinadas à teoria e duas destinadas aos exercícios propostos e resolvidos, ou seja, destinam exatamente 50% das páginas aos exercícios, o que é um indicativo da preocupação com a “aplicação” do que foi discutido na parte teórica. Alguns exercícios propostos por Bonjorno *et. al.* (2003) tratam de assuntos relacionados à Física Nuclear, que não foram explicados pelos autores, como atenuação e decaimento radioativo. Outros abordam conceitos como massa relativística, corpo negro, espectro de emissão, que não foram abordados no capítulo que trata da Física Nuclear.

Carron e Guimarães (2003) destinam quase a metade das páginas destinada à Física Nuclear aos exercícios, propõem exercícios que abordam basicamente emissões alfa, beta e gama e seqüências de desintegrações, apresentando também questões

numéricas, relacionadas ao conceito de atividade, com aplicações das fórmulas apresentadas ao longo do capítulo. Resolvem um exercício que envolve a reação de fissão, em que é solicitado o cálculo da energia liberada na reação, mas é importante ressaltar que os autores, na parte teórica que trata de fissão, não inseriram a equação da reação de fissão. Também propõem exercícios relacionados à equação de fissão e outro que trata de fusão com o enfoque nas equações do ciclo próton-próton, totalizando 23 exercícios apenas nesse capítulo.

Sampaio e Calçada (2003) propõe cinco exercícios sendo que um deles tem como tema a fissão nuclear e outro a fusão nuclear, mas em ambos solicitam o cálculo da energia liberada no processo.

Paraná (2003) não propõe nem resolve exercícios relacionados ao tema.

Esses resultados permitem inferir que o nível da abordagem, a partir do número reduzido de páginas sobre o assunto, é bastante superficial. Por outro lado, a necessidade de operacionalizar o conhecimento, em um formato compatível com a resolução de exercícios, faz com que grande parte do espaço destinado ao tratamento do tema seja encaminhada nessa direção.

Ênfases e abordagens

Em um segundo momento, procuramos investigar em que medida os assuntos tratados dentro da Física Nuclear estavam relacionados aos aspectos do conhecimento científico, da compreensão tecnológica e do impacto e importância social desse tema.

Dessa maneira, apresentamos na Tabela 2.4 uma síntese dos temas selecionados pelos autores e uma classificação das abordagens ou aspectos contemplados nesses livros, para os diferentes conteúdos tratados, em duas categorias identificadas: aspectos científicos e aspectos tecnológicos e sociais. Nesse caso, foi necessário reunir tanto a abordagem dos aspectos tecnológicos como das implicações sociais em uma única

categoria, uma vez que a superficialidade do tratamento dado não permitiu uma delimitação clara entre ambas.

Aspectos	Bonjorno <i>et. al.</i> (2003)	Carron e Guimarães (2003)	Ramalho <i>et. al.</i> (2003)	Sampaio e Calçada (2003)	Paraná (2003)
Científicos	radioatividade emissões; fusão; fissão; reação em cadeia	radioatividade; número de massa; isótopos; emissões; atividade e meia vida; raios X e radiações ionizantes; reações nucleares; força nuclear forte; equação $E=mc^2$; energia de ligação; fissão; fusão	radioatividade; descoberta dos raios X reações nucleares; emissões ; atividade;constante de desintegração; vida média;meia vida; fissão; reação em cadeia; fusão; força nuclear forte energia de ligação; estrelas	o átomo, isótopos; força nuclear; fusão; equação $E=mc^2$; energia de ligação e coesão nuclear; fissão; reação em cadeia	radioatividade; emissões; fissão; equação $E=mc^2$; força nuclear; fusão
Tecnológicos e Sociais	usina nuclear bomba atômica lixo atômico	aplicações da radioatividade <i>box</i> (radiocirurgia)	usinas nucleares poluição nuclear lixo atômico	reator nuclear bomba atômica <i>box</i> ($E=mc^2$)	proposta de atividade diferenciada

Tabela 2.4: Ênfases e abordagens nos livros didáticos

Em relação aos aspectos tecnológicos e sociais, destacam-se algumas questões como o “lixo atômico”, a utilização da energia nuclear para fins bélicos e as aplicações da energia nuclear em outros setores sociais

Sobre a questão do “lixo atômico”, Bonjorno *et. al.* (2003, p.349) após inserir uma foto do reator de Angra comentam sobre o problema do lixo atômico *"Normalmente esses resíduos são armazenados em tanques ou piscinas de resfriamento, no mesmo local dos reatores, e depois são encaminhados para outro local."* Mas os autores não explicam o

que de fato é lixo atômico e quais as conseqüências do processo de seu armazenamento. Acreditamos que o aluno, ao fazer essa leitura, não tenha condições de compreender as seqüências de decaimento, o que explica o problema do armazenamento, pois os autores apresentam isso de maneira "natural" como se fosse um problema semelhante ao de levar um lixo comum para um determinado local.

Carron e Guimarães (2003, p.318) ao tratar fissão, inserem uma figura de um reator nuclear sem explicar o processo e sem discutir o problema do lixo atômico. Ao abordar a fusão, inserem um esquema de um *tokamak* (reator de fusão nuclear) e concluem que no futuro essa opção seria melhor, pois *“além de ser mais eficiente que a fissão, não deixa a herança dos resíduos radioativos, o chamado lixo atômico”*. Mas os autores não discutem as futuras conseqüências desses resíduos, dificultando aos alunos que compreendam qual é o problema de fato.

Ramalho *et. al.* (2003, p.428) tratam da poluição nuclear, em apenas um parágrafo, como *“o grande problema da obtenção da energia nuclear a partir do processo de fissão”*. Inserem uma foto da usina nuclear de Angra dos Reis, sugerindo dois procedimentos para o armazenamento do lixo atômico e concluem que *“a solução definitiva da questão está longe de ser alcançada.”*

Paraná (2003, p.335) não menciona a questão do lixo atômico, apenas afirma, ao inserir uma foto da usina nuclear de Angra dos Reis, que a usina é *“geradora de energia considerada alternativa à crise nas reservas de combustíveis fósseis”* evidenciando, assim, apenas os “aspectos positivos” relacionados à questão.

Sampaio e Calçada (2003) não mencionam nada a respeito dessa questão.

Quanto à utilização da energia nuclear para fins bélicos, Bonjorno *et. al.* (2003, p.349), ao tratar da fissão, comentam, em apenas uma frase, sobre *“...a ação destrutiva de uma bomba atômica”* comparando a quantidade de TNT que seria necessária para *“a explosão de uma bomba [...] semelhante às lançadas sobre Hiroshima e Nagasaki”*.

Carron e Guimarães (2003, p.317) mencionam a questão da bomba em uma frase *“A fissão nuclear [...] descontrolada, é uma reação explosiva. É o que acontece nas bombas atômicas.”*

Sampaio e Calçada (2003, p.421) ao tratar de reação em cadeia comentam que *“quando a reação em cadeia não é controlada temos a bomba atômica de grande poder destrutivo”* e afirmam: *“em vez de bomba atômica, um nome mais adequado seria bomba elétrica”*, pois na *“fissão temos transformação de energia potencial elétrica em cinética”*. No capítulo que tratam da teoria da relatividade, após apresentar a equação $E=mc^2$, Sampaio e Calçada (2003) inserem uma figura da explosão da bomba e um *box*, em que discutem a questão das bombas de Hiroshima e Nagasaki, com um enfoque voltado para a questão política, questionando a contribuição de Einstein para a bomba atômica.

Ramalho *et. al.* (2003, p.428) afirmam que a *“eclosão da segunda grande guerra mundial acelerou as pesquisas visando conseguir a auto-sustentação da reação em cadeia que possibilitasse a confecção de uma arma”*. Inserem também uma figura com uma charge do Laerte que trata da valorização do Urânio enriquecido, mas não tecem qualquer comentário sobre a charge, tampouco do Urânio enriquecido ao longo do texto, o que seria interessante em uma problematização dessa questão. Assim um leitor leigo dificilmente poderia entender a charge.

Paraná (2003, p.335), após apresentar a equação de fusão, insere uma figura da bomba atômica lançada em Nagasaki, com a legenda: *“a bomba atômica tornou o ser humano consciente da possibilidade de sua extinção sobre o planeta.”*

Em relação às aplicações da energia nuclear em outros setores sociais, apenas Carron e Guimarães (2003) tratam das aplicações da radioatividade na arqueologia, com a datação do Carbono-14 e na medicina. Ao abordar radiações ionizantes discutem rapidamente os danos causados pela radiação, e no final do capítulo inserem um *box* sobre a radiocirurgia.

Quanto às atividades diferenciadas, Paraná (2003) sugere, no final do capítulo que aborda a Física Nuclear, uma atividade relacionada à peça Copenhagen, produzida pelo grupo Ciência no Palco. Apresenta dois textos escritos pelo Ildeu de Castro e por João Zanetic, propondo uma reflexão sobre a relação entre ciência, poder, ética, sociedade e cultura. No entanto, não fornece elementos suficientes para o tratamento do tema e não sinaliza a maneira pela qual o professor deverá conduzi-la.

2.4- Síntese dos resultados

De uma maneira geral, os resultados da análise detalhada dos livros apresentados apontam para um quadro com elementos comuns bem definidos. Na maioria deles, os tópicos são iniciados com a própria definição do tema ou de alguns conceitos considerados centrais, com pouco aprofundamento teórico e conceitual. Além disso, privilegiam os aspectos quantitativos, que podem ser expressos por fórmulas, ou aqueles que possibilitam sua subsequente utilização em exercícios e aplicações numéricas, em detrimento dos aspectos qualitativos.

Acreditamos que essa abordagem, realizada pelos livros didáticos, parece expressar a convicção de que o conhecimento científico a ser ensinado deve ser aquele que pode ser formatado em fórmulas, através das quais vai ser possível exercitar o raciocínio e, posteriormente, avaliá-lo. Essa hipótese é reforçada pelo fato de que alguns exercícios propostos não estão relacionados ao que está sendo discutido, de fato, no capítulo, ou tratam de conceitos que os autores não abordam na parte teórica.

Dessa maneira, nossas considerações concordam com WUO (2000, p.99), que conclui, a respeito de Paraná (2003), que a “...valorização do qualitativo não está presente, notando-se aí que o texto evidencia os aspectos quantitativos”. Wu (2000, p.99) também considera que Ramalho *et. al.* (2003) tem um caráter predominantemente quantitativo, e afirma que “na apresentação dos conceitos sobressai o modo extensista,

em que a apreensão do seu sentido é propiciada pela relação quantitativa com outras grandezas advindas, principalmente, das aplicações em problemas e exercícios de treinamento". Wu (2000) estende essas características apontadas em Ramalho *et. al.* (2003) para os livros de Bonjorno *et. al.* (2003) e Sampaio e Calçada (2003). Ou seja, na apresentação dos conteúdos de FMC dos livros didáticos encontramos as mesmas ênfases que as utilizadas nos demais conteúdos tratados nesses livros.

Os dados sinalizam também, em relação à abordagem adotada, que, em seis deles predomina uma forma de tratamento dos temas que denominamos de informativa, apenas descrevendo e apresentando as características das grandezas e temas, sem aprofundar seu sentido físico. Isso resulta em muitas ilustrações, pouca discussão conceitual, ênfase nas aplicações das "fórmulas" e muitos exercícios propostos com foco na aplicação numérica. Em Sampaio e Calçada (2003), alguns temas, como a equação $E=mc^2$, são introduzidos de maneira diferenciada com uma discussão conceitual interessante, mas, ainda assim, é possível perceber uma ênfase em aplicações das "fórmulas". E como pudemos verificar, a Física Nuclear não é um tema privilegiado na seleção de conteúdos da FMC nos livros analisados.

Gaspar (2003) introduz a FMC no mesmo capítulo de ondas eletromagnéticas, sinalizando uma tendência que encontra ressonância com as propostas apresentadas por Terrazzan (1994), muitos anos antes. No entanto, isso é feito em apenas um dos capítulos, continuando os demais estanques. Esse livro, além de ser o que destina o maior número de páginas ao assunto, apresenta também temas e questões conceituais, mas não em detrimento de aplicações das "fórmulas".

Como discutido anteriormente, Amaldi (1995) por ter sido um dos primeiros a introduzir a FMC, numa época anterior às novas tendências, não apresenta exercícios resolvidos ou propostos, os temas são expostos com uma discussão conceitual e problematizando as questões fundamentais. Da mesma maneira, Wu (2000, p.105)

considera que *“esse livro contém tópicos de física contemporânea, explora a relação entre a física e as tecnologias modernas num tratamento qualitativo [...] A tônica do livro é a valorização da apreensão conceitual de toda a estrutura teórica da física, buscando favorecer a visão de conjunto aliada ao sentido da ciência no contexto da vida contemporânea”*.

Com essa análise, podemos inferir, considerando as escolhas temáticas, que está se definindo um conhecimento escolar sobre a FMC, no Ensino Médio, em unidades independentes e próprias. A abordagem, no entanto, dada a breve extensão com que os temas são discutidos, privilegia aspectos informativos e não uma discussão conceitual propriamente dita.

Podemos perceber que as seleções de conteúdo realizadas nesses livros, ou suas opções sobre *“o saber a ser ensinado”*, revelam uma ênfase nos aspectos científicos, ou seja, um enfoque que privilegia aspectos internos do conhecimento científico. De certa forma, isso responde à expectativa de apresentar algumas das novas idéias da física do século XX. No entanto, o tipo de abordagem predominante não enfatiza sequer elementos relativos à natureza da ciência, ou seja, as novidades que esses conhecimentos evidenciam em termos de concepções, visões de mundo ou formas de investigação, restringindo-se aos conteúdos propriamente ditos. Assim, os livros sequer atendem ao cerne das expectativas dessa tendência, como apresentamos no Capítulo 1.

Há, portanto, ênfase no conteúdo de física envolvido, com poucas discussões envolvendo, de fato, aspectos cotidianos, tecnológicos, sociais, históricos e culturais, mais pertinentes aos objetivos desejados. Em assuntos como o efeito fotoelétrico, por exemplo, a abordagem dos livros apresenta a parte conceitual e algumas aplicações de expressões matemáticas, porém está longe de contemplar discussões sobre como ele está presente nas tecnologias cotidianas.

Embora alguns livros apresentem aplicações, eles o fazem apenas de forma informativa, sem o vínculo com a abordagem conceitual, contemplando alguns aspectos tecnológicos ou sociais, normalmente na forma de *box*, figuras, textos ou atividades complementares. Desse ponto de vista, nenhum dos textos traz elementos suficientes para que possam ser discutidas as questões sociais atuais que envolvem, por exemplo, aspectos de física nuclear.

Essas limitações também estão relacionadas à seleção de conteúdos frente ao número de páginas que cada livro destina ao tema Física Nuclear, que analisamos em detalhe. Dada a breve extensão com que o tema é discutido, são privilegiados os aspectos informativos e não uma discussão conceitual propriamente dita, não possibilitando a articulação desejada entre os conceitos científicos e seus usos e significados. Dessa maneira, a questão do armazenamento "lixo atômico", por exemplo, é tratada de maneira "natural" como se fosse um problema semelhante ao de levar um lixo comum para um determinado local.

Em síntese, podemos verificar que a grande maioria dos livros didáticos de ensino médio não segue qualquer uma das tendências predominantes na pesquisa ou nas orientações curriculares mais recentes, apontadas no Capítulo 1. Mantém um tratamento da FMC tal como os demais conteúdos da "Física Clássica", ou seja, essencialmente formal, abstrato e com fins no conhecimento de física em si próprio, com poucas discussões envolvendo os aspectos tecnológicos e sociais. Conclui-se disso que os livros didáticos estão "somando" novos conteúdos aos já existentes sem, contudo, responder às demandas da área de ensino de Física ou abordando aspectos essenciais para a construção de um conhecimento significativo.

Diante disso, reforça-se também a necessidade de que as investigações na área e seus resultados, para que de fato contribuam às práticas educativas, sejam dirigidas de forma a melhor caracterizar seus usos e aplicações. No caso da inserção da FMC, em

particular, uma contribuição importante seria a sugestão de diferentes conteúdos e formas de abordá-los nas salas de aula do Ensino Médio, seja na formação inicial ou continuada de professores.

Concluimos por meio dessa análise, que os livros de Ensino Médio não incorporam ou propiciam elementos considerados importantes e essenciais para uma educação básica que dê conta de objetivos educacionais voltados à compreensão do mundo contemporâneo, do ponto de vista de uma formação para a cidadania. Tampouco respondem de maneira satisfatória quais são as reais dificuldades na inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

A análise sinaliza, portanto, a necessidade de se construir novas organizações curriculares que levem em consideração tais elementos, de forma a permitir um aprofundamento do tema compatível com os objetivos desejados. Essa foi a motivação para realizarmos intervenções voltadas à formação continuada de professores do Ensino Médio.

CAPÍTULO 3

Propostas de introdução da FMC no EM

3.1- Introdução

Como apresentamos no capítulo anterior, a Física Moderna e Contemporânea (FMC) já está sendo inserida nos livros didáticos de Física do Ensino Médio (EM). Considerando a forma com que os conteúdos de FMC estão sendo selecionados e organizados em cada livro, podemos observar que se configura uma “nova” proposta de organização desse conteúdo, readequada ao EM, através de propostas diferentes, com características próprias.

Paralelamente, é possível verificar que, em função da importância dada ao tema na área de pesquisa em Ensino de Física, várias propostas com esse caráter vêm sendo discutidas nos últimos anos. Diversos trabalhos apresentados em encontros e simpósios da área de ensino de Física e de Ciências, como EPEF¹⁰, SNEF¹¹ e ENPEC¹², assim como dissertações e teses têm essa questão como objeto de estudo,. Consideramos, portanto, relevante investigar quais novas propostas vêm se consolidando e de que forma e em que medida respondem às justificativas apresentadas pela área para a inserção de FMC no EM. Um panorama dessas iniciativas pode contribuir para melhor situar nossa questão de investigação e as propostas que desenvolvemos.

¹⁰ Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF)

¹¹ Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF)

¹² Encontro de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)

Assim, em um primeiro momento, buscamos identificar com maior profundidade, dentre os trabalhos apresentados em encontros e simpósios da área, aqueles que apresentam propostas para inserir temas da FMC nas salas de aula, pretendendo analisar a forma pela qual foi realizada a seleção e organização de conteúdos em cada caso.

Além disso, em um segundo momento, estendemos essa análise de forma a incluir também dissertações de mestrado e teses de doutorado da área de Ensino de Física, apresentadas e defendidas em instituições brasileiras, no período de 1996 a 2005, com o intuito de resgatar a produção nacional no âmbito da pesquisa em Ensino de Física com maior completude.

A análise das dissertações e teses foi necessária, pois, nessas investigações as propostas aparecem mais consolidadas, com uma melhor caracterização e aprofundamento, o que torna possível identificar elementos mais precisos para a questão que estamos investigando.

Pretendemos, da mesma forma que fizemos com os livros didáticos, analisar como as propostas que vêm sendo apresentadas em nossa área organizam e selecionam os conteúdos da FMC e, além disso, em que medida estão respondendo às demandas colocadas, contemplando as diversas expectativas esperadas com essa inserção, tal como apresentamos no Capítulo 1.

3.2- Propostas apresentadas em encontros da área de Ensino de Física

Realizamos, inicialmente, um levantamento dos trabalhos, apresentados em encontros e simpósios da área, que abordam a FMC. Optamos por restringir nossa amostra apenas aos trabalhos apresentados nos EPEFs dos últimos 10 anos, por ser o evento mais representativo, no Brasil, da área de pesquisa em Ensino de Física.

Foram identificados, nesses encontros, 24 trabalhos que abordam essa questão. Organizamos os trabalhos em três grandes grupos, como apresentamos na Tabela 3.1, e indicamos a porcentagem que cada grupo representa no conjunto de trabalhos.

Grupo 1	Trabalhos que tratam do tema em contextos que não o do EM	37%
Grupo 2	Trabalhos que tratam do tema com foco no EM, sem apresentar uma proposta de ensino concreta	21%
Grupo 3	Trabalhos que discutem propostas concretas de ensino para o EM	42 %

Tabela 3.1: Trabalhos organizados em 3 grupos.

3.2.1- Caracterização dos trabalhos

Realizaremos a seguir uma caracterização desses três grupos de trabalhos.

Apresentamos na Tabela 3.2 os nove trabalhos do Grupo 1, que não se reportam especificamente à inserção da FMC no EM, mas estão voltados ao Ensino Superior, ao Ensino Fundamental, à divulgação científica, à literatura e arte e a tecnologias da informação e comunicação. Não realizamos uma análise detalhada desse conjunto, mas consideramos relevante registrá-los.

Enfoque	Título do trabalho	Autor
Ensino Superior	Mecânica Quântica para não físicos: avaliação de uma proposta	Greca e Herscovitz (2000)
	O ensino de mecânica quântica e o paradoxo da compreensão	Filho (2004)
	Um exemplo do uso de experimentos virtuais objetivando a introdução de conceitos de mecânica quântica na disciplina de estrutura da matéria	Schuck e Serrano (2004)
	Evolução conceitual de professores de física do ensino médio sobre o fenômeno da interferência quântica.	Ostermann <i>et. al.</i> (2006)
Ensino Fundamental	O evento acidente de Goiânia: experiência de CTS no ensino Fundamental	Cruz e Zylbersztajn (2000)
Divulgação científica	Ensino de Física Moderna e Contemporânea e a revista ciência hoje	Alvetti e Delizoicov (1998)
	$E=mc^2$: ensino médio e divulgação	Perez e Caluzi (2004)
Literatura e Arte	Ciência e arte, razão e imaginação: complementos necessários à compreensão da Física Moderna	Carvalho e Zanetic (2004)
Análise de Applets	Uma análise de <i>applets</i> de Física Moderna e Contemporânea para o ensino médio	Viana e Filho (2006)

Tabela 3.2: Trabalhos do Grupo 1.

Dentre esses trabalhos, por exemplo, Greca e Herscovitz (2000) e Schuck e Serrano (2004) analisam propostas didáticas voltadas para o Ensino Superior, que não são o foco de nossa análise. Outros abordam discussões epistemológicas (Filho, 2004) ou teóricas (Ostermann *et. al.*, 2006) voltadas a este nível de ensino.

Cruz e Zylbersztajn (2000) elaboraram um “módulo de ensino” tendo como tema “o acidente radioativo de Goiânia”, foram realizados encontros com os professores que participaram da aplicação dos módulos, mas ele estava voltado ao Ensino Fundamental, portanto com interesses e objetivos diferentes aos do Ensino Médio.

Carvalho e Zanetic (2004) estabelecem uma ponte entre ciência, arte, razão e imaginação, tratando de textos com fontes diversas, desde aqueles escritos originalmente por cientistas até os literários. Outros trabalhos (Perez e Caluzi, 2004; Alvetti e Delizoicov, 1998) tratam da FMC no âmbito da divulgação científica.

Viana e Filho (2006) realizam um levantamento e analisam *applets* voltados para o ensino da FMC no EM com o objetivo de identificar suas potencialidades e concluem que os *applets* investigados apresentam poucas informações sobre o uso e sobre o fenômeno simulado e não vêm acompanhados de propostas pedagógicas.

No segundo grupo incluímos trabalhos que discutem a questão da inserção da FMC no EM, mas que não apresentam propostas concretas para a sala de aula. Apresentamos na Tabela 3.3 os cinco trabalhos do Grupo 2. Percebemos nesses trabalhos três enfoques principais: os que tratam de princípios norteadores dos currículos, os que relacionam a inserção da FMC às idéias da Transposição Didática (TD) ou que realiza um levantamento de tópicos de FMC.

Enfoque	Título do trabalho	Autor
Inserção e currículo	O ensino de física em nível médio e os parâmetros curriculares nacionais na formação inicial	Ricardo e Zylbersztajn (2004)
	A inserção da física moderna e contemporânea no ensino médio	Sanches <i>et. al.</i> (2006)
TD com FMC	Análise de artigos sobre ensino de relatividade restrita pela transposição didática	Rodrigues e Oliveira (2000)
	Serão as regras da transposição aplicáveis aos conceitos de física moderna	Brockington e Pietrocola (2004)
Tópicos de FMC	Tópicos de física contemporânea na escola média brasileira: um estudo com a técnica <i>Delphi</i>	Ostermann e Moreira (1998)

Tabela 3.3: Trabalhos do Grupo 2

Dois trabalhos, Ricardo e Zylbersztajn (2004) e Sanches et al. (2006), discutem a inserção da FMC no EM enfocando os princípios norteadores do currículo de ensino médio. Outros trabalhos discutem a inserção da FMC no EM tomando como referencial teórico a Transposição Didática (TD). Por exemplo, Rodrigues e Oliveira (2000) analisam, segundo esse referencial, quinze propostas de ensino sobre a Teoria da Relatividade Restrita. No entanto, essas propostas não se restringem apenas ao Ensino Médio, também são incluídas propostas para o Ensino Superior.

Brockington e Pietrocola (2004) questionam a aplicabilidade da Transposição Didática na análise da inserção de tópicos de FMC no Ensino Médio. Propõem uma nova regra, que implicaria a geração de um "*Sentimento de Realidade*", para que a Transposição Didática possa ser utilizada como ferramenta de análise para estes "novos saberes".

Ostermann e Moreira (1998) realizam um levantamento de temas de FMC que deveriam ser incluídos no currículo de Física do ensino médio em escolas brasileiras. Esse levantamento foi realizado com três conjuntos diferenciados, formados por físicos, pesquisadores em ensino de Física e professores de Física do ensino médio. A lista dos tópicos mais indicados inclui: efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios

X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, Big Bang. Dos conjuntos investigados, as opiniões de dois deles são relevantes para nosso trabalho, dos pesquisadores em ensino de Física e dos professores de Física do ensino médio. Há um consenso em quase todos os temas, com exceção do tema *Origem do Universo*, indicado apenas pelo primeiro conjunto e dos temas *Laser* e *Partículas Elementares*, escolhidos pelo segundo conjunto. Os pesquisadores em ensino e os professores de EM não consideram a Física Nuclear e não especificam de forma especial a equação $E=mc^2$, como temas relevantes.

Apresentamos na Tabela 3.4 os dez trabalhos que elaboram propostas didáticas ou aplicam e analisam propostas de inserção da FMC no EM, que correspondem ao Grupo 3. No entanto, em alguns desses trabalhos não foi possível termos acesso às propostas, como em Costa e Santos (1998) que apresentaram o trabalho em forma de pôster, tendo nas atas apenas o resumo do trabalho, sem a descrição da proposta. O trabalho de Arruda e Villani (1998), quando apresentado, estava em andamento e a fase de elaboração da proposta não havia sido concluída.

Título do trabalho	Autor
Inserção da Física Moderna no 2º grau: problemas e perspectivas	Arruda e Villani (1998)
A FMC na escola média: uma estratégia de mudança na prática docente	Costa e Santos (1998)
Atualização curricular e ensino de Física na escola média	Strieder e Terrazzan (1998)
Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo desta problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores	Ostermann e Moreira (2000)
Uma aula sobre o Efeito Fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades	Tavolaro <i>et. al.</i> (2002)
A abordagem das relatividades em sala de aula	Karan <i>et. al.</i> (2006a)
Uma releitura metodológica para o ensino de relatividade restrita	Karan <i>et. al.</i> (2006b)
Avaliação de um sistema hipermídia enquanto recurso didático para o ensino de conceitos de Física Moderna e sobre a natureza a Ciência	Machado e Nardi (2006)
O ensino de Física Moderna, com enfoque CTS: um tópico para o Ensino Médio Raios X	Oliveira e Vianna (2006)
A transposição didática aplicada à teoria contemporânea: a física de partículas elementares no ensino médio	Siqueira e Pietrocola (2006)

Tabela 3.4: Trabalhos do Grupo 3

Strieder e Terrazzan (1998) apresentam a maneira pela qual foi desenvolvida uma proposta de inserção da FMC, mas o foco do trabalho está na descrição dos encontros com os professores, durante a etapa de elaboração dos planejamentos e a análise dos resultados, a partir da entrevista com os professores. Em relação à proposta desenvolvida, foi explicitado apenas o número de aulas previstas e os tópicos selecionados: *dualidade onda-partícula e modelo atômico*. Assim, não tivemos acesso de fato à organização curricular que eles realizaram, apenas aos tópicos selecionados e à maneira que a proposta foi desenvolvida pelo grupo. Strieder e Terrazzan (1998, p.5) desenvolveram as atividades *“a partir de situações e/ou questões consideradas problematizadoras, ou seja, que propiciem um maior envolvimento dos alunos na busca do seu entendimento e solução”*. Mas as atividades não foram apresentadas no decorrer do trabalho.

Karan *et. al.* (2006a) apresentam parte de uma sequência didática que aborda tópicos da *Teoria da Relatividade Restrita* com estudantes do primeiro ano do EM. Foi promovida uma discussão sobre o *princípio da relatividade* e analisados alguns episódios de ensino e as respostas dos alunos a um questionário aplicado após a sequência didática.

A partir de uma concepção de aprendizagem que inclui a demarcação e a evolução das zonas de perfil conceitual, Karan *et. al.* (2006b) avaliam a pertinência das estratégias didáticas por eles apresentada. Esta proposta está em sintonia com o objetivo de inserir a FMC incorporada à apresentação e ao desenvolvimento das teorias clássicas e não apenas após o eletromagnetismo. Em relação aos aspectos metodológicos, *“este estudo oportunizou uma reinterpretação da metodologia dos três momentos pedagógicos, segundo as teorias de equilíbrio de Piaget e a sócio-interacionista de Vygotsky.”*

A proposta didática de Machado e Nardi (2006) envolve a produção e a avaliação de um *software* educacional, um hipertexto estruturado em conformidade com princípios ausubeliano, envolvendo vários temas da FMC. Foi ministrado um curso introdutório, no EM, com a utilização do *software* com o objetivo de verificar a potencialidade da hipermídia na abordagem da Física Moderna. Segundo os autores, as aulas foram desenvolvidas de acordo com a seguinte seqüência didática: explanação inicial do professor; exploração, pelos alunos de um tópico do sistema hipermídia; debate das questões propostas no *software* em dupla e com o professor; debate das questões envolvendo toda a turma; resposta individual às questões e entrega do material ao professor.

Tavolaro et al. (2002) apresentam uma proposta envolvendo dois recursos educacionais distintos, uma simulação computacional do *efeito fotoelétrico* e um experimento prático utilizando *leds* (light emitter diode). Em ambos os casos a proposta é centrada na aplicação de equações e construção de gráficos com o intuito de determinar a constante de Planck. Sugerem um debate em sala de aula, em que parte dos alunos deve defender o comportamento ondulatório da luz e outra parte o comportamento corpuscular.

Verificamos que três trabalhos, (Oliveira e Vianna, 2006; Ostermann e Moreira, 2000; Siqueira e Pietrocola, 2006), detalham algumas questões relacionadas aos nossos objetivos de análise. Dessa maneira, os apresentamos com uma extensão maior.

Oliveira e Vianna realizam uma discussão, em linhas gerais, sobre a inserção da FMC no EM. Destacam que *“os principais problemas que surgem dessa análise referem-se ao ‘como fazer’, a fim de que os tópicos de FMC não se tornem mais um num currículo [...]. O caráter formativo desses tópicos deve ser priorizado e faz-se necessário buscar propostas que fujam da mera informalidade do assunto, a fim de que não sejam inseridos*

como pontos isolados em um currículo que já é bastante extenso.” (Oliveira e Vianna, 2006, p.2)

Os autores apresentam uma proposta que tem como tema os raios x, privilegiando *“...uma concepção de ensino de Ciências onde o assunto raios X fosse abordado de forma a se compreender como são produzidos, quais foram as implicações históricas, sociais e éticas, assim como avaliar os riscos para a saúde, devido à utilização indiscriminada.”* Em relação ao assunto escolhido os autores afirmam que ele *“requer um tratamento matemático de nível superior e levando em consideração as limitações matemáticas do EM, na nossa proposta metodológica, priorizamos a parte qualitativa dos fenômenos.”* (2006, p.4). Foi elaborado um texto, com 52 páginas, dividido em quatro módulos independentes: O módulo 1 trata dos raios X e suas aplicações na medicina, na indústria e na agricultura. O módulo 2 aborda a descoberta dos raios X com a experiência de Röntgen, e o módulo 3 introduz a física dos raios X com os conceitos físicos. O módulo 4 traz os efeitos biológicos das radiações e os riscos para saúde.

Os autores justificam que optaram por *“começar com um módulo onde pudéssemos identificar o que os alunos sabem sobre os raios X e de que maneira o assunto está inserido no seu dia a dia. Dessa forma podemos desenvolver uma estratégia onde a fala do aluno é o foco principal, saindo do modelo tradicional de aula e motivando-o.”* (2006, p.7). No entanto, a proposta é apenas descrita, pois não foi aplicada, tendo-se optado por sua validação através de sua avaliação por outros professores.

Ostermann e Moreira (2000) realizaram uma pesquisa, ao longo de três anos, com o objetivo de introduzir a FMC no EM, em específico dos assuntos *partículas elementares* e *supercondutividade*, em três escolas de Porto Alegre. Eles justificam a escolha do tópico *supercondutividade* por estar *“relacionado à impressionante revolução tecnológica que presenciamos neste final de século, ilustrando, portanto, uma série de aplicações*

potencialmente motivadoras para os alunos.” E demonstram o fenômeno da levitação magnética, permitindo que “os alunos ‘vejam’ o fenômeno e não apenas tenham que abstrair conceitos puramente teóricos.” (Ostermann e Moreira, 2000, p.4)

*O ensino do tópico *partículas elementares* foi proposto, segundo os autores, “a partir de uma ênfase que podemos chamar de ‘informativa’ [...] sem envolver complicações matemáticas, e fazendo relações com os modelos atômicos discutidos nas aulas de Química.” (2000, p.5)*

Foram elaborados materiais didáticos sobre cada um dos temas, o que envolveu a redação de dois textos e a confecção de outros recursos didáticos, como um pôster sobre partículas elementares e interações fundamentais e a demonstração da levitação magnética. O texto que trata de partículas elementares, com 68 páginas, inclui um breve histórico do desenvolvimento do conceito de átomo, as descobertas do início do século XX, leis de conservação, interações fundamentais e o modelo padrão atual. Já o texto sobre supercondutividade, com 74 páginas, apresenta um histórico do fenômeno, propriedades básicas de um supercondutor, termodinâmica da transição supercondutora, Teoria de London, Teoria Ginzburg-Landau, Teoria BCS, levitação magnética, supercondutores do tipo II e aplicações da supercondutividade. Os textos formam baseados em referências estrangeiras, pois segundo os autores *“são ainda bastante escassos os materiais escritos em língua portuguesa na área”* (2000, p.6).

Em relação aos resultados obtidos, Ostermann e Moreira (2000, p.9) destacam que *“é fundamental investir na produção de materiais didáticos sobre temas de FMC acessíveis aos professores e aos alunos de nível médio.”* E quanto à formação dos professores consideram que é *“preciso formar professores críticos em relação ao currículo de Física e com ferramentas que possibilitem o enfrentamento da questão da atualização curricular. Isto só é possível com uma preparação adequada.”* Os autores consideraram a

experiência *“bem sucedida, em grande parte, pela meticulosa preparação envolvida”*, o que confirmou ser viável o ensino da FMC no EM. Em relação à abordagem destacam que *“analogias são importantes, vínculos com conteúdos já existentes no currículo são convenientes e avanços em pontos mais modernos é possível se a ênfase dada for no aspecto mais conceitual da Física.”*

Siqueira e Pietrocola (2006) elaboram uma proposta de inovação curricular, uma seqüência didática, com objetivo levar a *Física de Partículas Elementares* para o EM. Utilizam a Transposição Didática como ferramenta de análise, para verificar se esse tópico pode se tornar um “saber a ensinar”. Os autores (2006, p.8) frisam que essa análise *“não agrega valores aos saberes transpostos, ou seja, ela não diz se uma transposição é boa ou ruim, ela somente analisa se a transposição do saber é possível ou não.”*

Grande parte do trabalho é destinada à discussão teórica da Transposição Didática, levantando suas principais características. Segundo Siqueira e Pietrocola (2006) levar a *Física de Partículas Elementares* à sala de aula do EM contribui para uma atualização e modernização do saber escolar, permite a transformação desse saber em exercícios e problemas e a articulação desse saber novo com o antigo, que constituem algumas das “regras” da Transposição Didática.

Em relação à seleção de conteúdos realizada e às características relevantes que o saber deve apresentar para permanecer no nível do “saber a ensinar”. Os autores (2006, p.8) consideram que a Física de Partículas *“é uma teoria consensual, pois a comunidade científica a reconhece como uma teoria para descrever a estrutura da matéria e as interações, apesar de não estar completa.”* Além disso, traz *“uma atualização do saber que já se encontra em sala de aula, através de uma nova visão da natureza, feita pelo modelo padrão atual.”*

Quanto à operacionalidade, Siqueira e Pietrocola (2006, p.9) acreditam *“que esse tópico apresenta grande potencial para criação de uma seqüência didática, com atividades, exercícios, problemas e até mesmo algum tipo de atividade prática que possa vir a instigar o aluno.”* E destacam como um problema a questão da criatividade didática, pois *“mesmo aquela parte que se já se encontra nos livros de Física do E.M., não apresenta a criatividade didática, estando fortemente estruturado na forma tradicional, ou seja, nos moldes dos conteúdos que já se encontram nos livros.”*

Percebemos, portanto, que todos os trabalhos analisados acreditam na possibilidade da inserção da FMC no EM e algumas das propostas foram inseridas, mesmo que de maneira pontual, nas salas de aulas. Muitos trabalhos criticam a maneira pela qual a FMC está sendo abordada nos livros didáticos e consideram suas novas propostas como uma maneira alternativa para tratar a FMC. Percebemos a preocupação como na proposta de Oliveira e Vianna (2006), ao abordar *raios X*, de partir das aplicações tecnológicas mais próximas ao cotidiano dos alunos. Outros trabalhos como Siqueira e Pietrocola (2006) e Ostermann e Moreira (2000) por terem escolhido o assunto *física de partículas*, destacam mais os aspectos científicos, mas a preocupação com a abordagem também está presente. E, na medida do possível, são evidenciados alguns aspectos relacionados à tecnologia, como Ostermann e Moreira (2000) fazem ao abordar a supercondutividade.

3.2.2-Temas da FMC abordados nos trabalhos

No Gráfico 3.1 apresentamos os conteúdos de FMC tratados nos trabalhos analisados e a frequência (%) com que cada um aparece no conjunto.

Gráfico 3.1: Assuntos da FMC abordados nos trabalhos analisados

Em relação aos temas da FMC, percebemos que 44% desses trabalhos, não aborda um assunto específico da FMC, ou seja, inserem ao longo do trabalho vários temas ou abordam a FMC de maneira geral. Um tópico que aparece em destaque, sendo abordado em 20% dos trabalhos é a *dualidade onda-partícula*. Nesse tema, são privilegiados o *efeito fotoelétrico* e o *Interferômetro de Mach-Zehnder*, cada um deles tratados em dois trabalhos.

Quatro trabalhos, o que corresponde a 16%, têm como tema a *Teoria da Relatividade Restrita*, sendo que um deles trata em específico da relação $E=mc^2$. Dois dos trabalhos, o que corresponde a 8%, tratam de *partículas elementares*, sendo que um deles aborda também a *supercondutividade*. Apenas um trabalho trata da *física nuclear* e um de *raios X*.

Como nosso interesse está na elaboração de propostas ou materiais didáticos, também identificamos, entre os trabalhos do Grupo 3, aqueles que elaboram propostas. Percebemos três tendências de temas principais: *Dualidade Onda-Partícula*, presente em

27% dos trabalhos, e *Partículas Elementares e Relatividade Restrita*, presentes em 18% dos trabalhos. Ou seja, assuntos que demandam uma ênfase nos aspectos científicos, já que esses temas não permitem articular maneira satisfatória no EM as aplicações tecnológicas ou sociais, o que não ocorre, por exemplo, com o tema raios X, que aparece apenas em um trabalho. Podemos verificar também que nenhuma proposta, destinada ao Ensino Médio, aborda a Física Nuclear.

As contribuições que obtivemos da análise desse conjunto de trabalhos apresentados nos EPEFs, pelo fato de terem um formato específico e reduzido, foram limitadas. Embora as escolhas e organizações de conteúdos realizadas por esses autores tenham, de forma implícita, sua possível importância tanto na dimensão científica da Física Moderna como na tecnológica, alguns não as justificam dessa forma explicitamente.

Alguns trabalhos são fragmentados, ou descrevem de maneira superficial como foi realizada a seleção de conteúdos, outros trazem apenas contribuições pontuais.

Essa foi mais uma motivação para investigarmos, também, dissertações e teses defendidas na área de ensino de física, que abordam a inserção da FMC no EM, de modo a buscar mais elementos e contribuições, com a expectativa que nessas investigações estivessem incluídas propostas de inserção mais consolidadas e justificadas.

3.3- Propostas apresentadas em dissertações e teses

Para o levantamento de teses e dissertações com foco na temática da FMC, consultamos o terceiro volume do catálogo analítico de Ensino de Física no Brasil¹³, com

¹³ KAWAMURA, Maria Regina D.; SALEM, Sonia. (Orgs.) Ensino de Física no Brasil: catálogo analítico de dissertações e teses (1996-2005). São Paulo: s.n., **versão preliminar**, 2008.

cerca de 400 referências de dissertações de mestrado, teses de doutorado e de livre-docência da área de Ensino de Física, apresentadas e defendidas em instituições brasileiras, no período de 1996 a 2005.

As organizadoras (2008, p.2) destacam que este catálogo “...*não contempla a totalidade das dissertações e teses do país, dada a grande dificuldade de acesso a essa produção, mesmo nos dias atuais...*” Analisando os resumos apresentados, encontramos 42 dissertações relacionadas à FMC, o que corresponde a aproximadamente 10% do total.

Dado nosso interesse na organização curricular e seleção de conteúdos, buscamos nesse conjunto de teses, aquelas que, de certa forma, apresentavam ou discutiam propostas de inserção da FMC no EM. Encontramos apenas 15 trabalhos que apresentam propostas ou elaboram material didático para inserir a FMC no EM, com exceção de Samagaia (2003) que visa o Ensino Fundamental. Na Tabela 3.5¹⁴, apresentamos o título, autor e o assunto da FMC abordado nesse conjunto.

Assunto	Título do trabalho	Autor
Diversos	Entre a inércia e a busca: reflexões sobre a formação em serviço de professores de física do ensino médio	Arruda (2001)
	Texto e contexto para o ensino de física moderna e contemporânea na escola média	Canato Junior (2003)
	A prática de leitura e a escrita em aula de física mediadas por textos de divulgação científica	Corrêa (2003)
	Atividades experimentais no ensino da Física Moderna e a prática pedagógica de professores	Hernandes (2002)
	Atualização curricular e ensino de física na escola média	Strieder (1998)
Átomo de Bohr	O átomo de Bohr no nível médio: uma análise sob o referencial lakatosiano	Basso (2004)
Dualidade onda-partícula	A realidade escondida: a dualidade onda-partícula para aluno do ensino médio	Brockington (2005)
	A introdução da Física Moderna no segundo grau: obstáculos e possibilidades	Camargo (1996)
	Ensinando a dualidade onda-partícula sob uma nova ótica	Fagundes (1997)

¹⁴ Realizaremos uma análise mais aprofundada das três teses que estão destacadas na tabela.

Relatividade	Relatividade Restrita no início do ensino médio: elaboração e análise de uma proposta	Karan (2005)
	A inserção da teoria da relatividade no ensino médio	Rodrigues (2001)
Nuclear	Física Moderna no ensino fundamental: uma experiência com o Projeto Manhattan	Samagaia (2003)
	Poluição nuclear: a inserção da educação ambiental no ensino médio na perspectiva globalizante via enfoque CTS	Souza (2005)
Caos	Atividades curtas multi-abordagem no ensino médio: a dependência sensível às condições iniciais da Teoria do Caos Determinístico	Uema (2005)
Partículas e supercondutividade	Tópicos de Física Contemporânea no ensino médio na formação de professores de Física	Ostermann (2000)

Tabela 3.5: Teses que elaboram propostas de inserção da FMC no EM

Cinco teses (Arruda, 2001; Canato Junior, 2003; Corrêa, 2003; Strieder, 1998; Hernandez, 2002) não especificam, no resumo, o conteúdo da FMC abordado na proposta. Três trabalhos (Brockington, 2005; Camargo, 1996; Fagundes, 1997) propõem a inserção da FMC centrando no assunto *dualidade onda-partícula* e dois trabalhos (Karan, 2005; Rodrigues, 2001) abordam a *Teoria da Relatividade*.

Dois trabalhos abordam a *Física Nuclear*. Samagaia (2003) trata do *Projeto Manhattan* e Souza (2005) aborda o tema *Poluição Nuclear*. Basso (2004) tem como tema o *modelo atômico de Bohr*, Uema (2005) aborda *caos* e Ostermann (2000) trata de *partículas elementares e supercondutividade*.

Temos no Gráfico 3.2 a distribuição, em termos percentuais, dos trabalhos e temas da FMC abordados por eles. Percebemos, assim como nos trabalhos apresentados nos encontros da área, uma predominância dos temas *dualidade onda-partícula* e *Relatividade*.

Gráfico 3.2: Assuntos da FMC abordados nas dissertações e teses

Arruda (2001) trata da formação em serviço de professores de Física do Ensino Médio, adotando para a interpretação dos dados um referencial psicanalítico de orientação lacaniana. O trabalho analisa um grupo de 30 professores de Física que discutem e planejam atividades para a introdução da FMC na escola média.

Canato Junior (2003) apresenta uma proposta, na forma de um texto, de inserção da FMC no EM, de forma integrada aos demais campos da Física. E analisa livros destinados à escola média que abordam o mesmo tema.

Corrêa (2003) elabora uma seqüência de ensino de FMC, com o intuito de analisar a prática de leitura e escrita de alunos em aulas de Física do EM. Utiliza como estratégia de ensino atividades com textos didáticos e de divulgação científica, filmes didáticos e de longa metragem de ficção científica.

Hernandes (2002) elabora, com um grupo de professores de Física, planejamentos didático-pedagógicos e acompanha a implementação desses planejamentos em sala de aula. O trabalho trata da atualização curricular da disciplina de

Física do EM, com especial atenção à incorporação de temas de Física Moderna, ou seja, não trata somente da inserção da FMC e não especifica os assuntos abordados.

Strieder (1998) organiza um grupo de trabalho, formado por professores e pesquisadores de Física, visando alterações curriculares para a inserção de conteúdos de Física Moderna no EM. Apresenta no trabalho o processo vivenciado junto a este grupo.

Basso (2004) analisa como o *modelo atômico de Bohr* é apresentado em seis livros didáticos e elabora um texto sobre o tema, de acordo com o referencial lakatosiano. Esse material foi avaliado por uma amostra de professores de Física do EM.

Camargo (1996) elabora uma proposta de inserção do tema *dualidade onda-partícula* no EM, a partir das necessidades teóricas, da consulta a docentes, da análise bibliográfica de diversos livros didáticos que incluem o assunto pesquisado.

Fagundes (1997) discute a inserção da *física quântica*, em específico do assunto *dualidade onda-partícula* como um modo de romper com a estrutura curricular e metodológica das abordagens tradicionais de ensino de física no ensino médio.

Com base na idéia de que as teorias modernas devam ser incorporadas ao conteúdo clássico no ensino de Física, Karan (2005) elabora e analisa uma proposta para discutir tópicos da *Teoria da Relatividade Restrita*, com estudantes do primeiro ano do EM, a partir de conceitos da *Mecânica*. A seqüência didática, embasada na metodologia dos três momentos pedagógicos, foi elaborada e testada em caráter exploratório.

Samagaia (2003) desenvolve, aplica e avalia um módulo de Física Moderna voltado à sala de aula do ensino fundamental, no contexto histórico do Projeto Manhattan. Entre os conteúdos de ciência contemplados estão a *fissão nuclear*, a *radiação*, a pesquisa e o uso de *armas químicas e biológicas*. Foi utilizada nesse trabalho a perspectiva educacional voltada à formação de cidadãos.

Uema (2005) elabora e aplica em sala de aula de uma seqüência de ensino, adequada ao EM, que visa a introdução da teoria do *Caos Determinístico*. Utiliza uma metodologia de ensino denominada “atividades curtas multi-abordagem”.

A partir de reformulações em uma disciplina do curso de Licenciatura em Física da UFRGS Ostermann (2000) elabora, entre outros recursos, um texto para alunos do EM abordando *partículas elementares e supercondutividade*, utilizados por estagiários para ministrar aulas no EM. O trabalho está centrado na formação de professores tendo em vista o enfrentamento da questão da atualização curricular.

Desse conjunto, selecionamos três dissertações - Rodrigues (2001), Brockington (2005), Souza (2005) - para realizar uma análise mais específica, procurando verificar o que orientou a seleção de conteúdos, as justificativas para o tratamento do tema em específico e caracterizar a maneira pela qual foi estruturada cada proposta de inserção da FMC no EM.

3.3.1- Proposta: Teoria da Relatividade

O objetivo maior do trabalho de Rodrigues (2001, p.21) é propor uma forma de inserção da *Teoria da Relatividade* (TR) no Ensino Médio (EM). Em relação à escolha do tema o autor explicita que “...primeiramente, a TR é considerada como um marco histórico tanto no pensamento científico quanto para a sociedade em geral” . Destaca a importância dos conhecimentos da FMC para a compreensão de alguns avanços tecnológicos do cotidiano: a música digitalizada, computadores que utilizam transistores, a iluminação pública com foto-sensores, aparelhos de ressonância magnética, as usinas nucleares, datação de fósseis e objetos cerâmicos, laser, fenômenos espontâneos como a luz emitida pelo Sol e estrelas. E defende a inserção da FMC no EM para que “o aluno

consiga compreender as notícias que são veiculadas nas diversas formas de divulgação."

(2001, p.15). Contudo, justifica:

Contrariamente a outros temas de FMC, a escolha da TR como tópico de inserção no EM entre diversos outros não pode residir no fato desse conteúdo permitir a compreensão de avanços tecnológicos que nos circundam [...] o único aparelho cujo funcionamento necessita da TRR para ser explicado é o GPS e, mesmo assim, a contribuição dessa teoria se limita à correção que deve ser feita durante a transmissão do sinal entre o aparelho e o satélite. (RODRIGUES, 2001, p.23)

Esse autor salienta que *"durante a época em que a TR foi proposta, havia ocorrido uma série de problemas entre teorias clássicas e resultados experimentais. Algumas dessas incompatibilidades e discussões que destacam o desenrolar natural da ciência enquanto atividade humana devem ser abordadas no Ensino Médio."* E acredita que *"a exploração da história da física, em especial da Teoria da Relatividade possibilita a introdução de outros tópicos de FMC."* (Rodrigues 2001, p.26)

Além destes fatores, Rodrigues (2001, p.27) aponta também *"a presença deste patrimônio cultural que é a figura de Einstein [...] O fato do ícone Einstein e suas contribuições estarem presentes na vida do adolescente, ainda hoje, pode contribuir para a inserção da TRR no EM. Este assunto sim, está presente no cotidiano do aluno, em sua vivência diária."* O autor fundamenta sua justificativa para a inserção da TRR em três aspectos: *"a mudança de padrão de raciocínio e interpretação da realidade aliada à abstração e sofisticação do pensamento [...] a possibilidade dessa teoria servir de porta de entrada para outros tópicos da FMC e, finalmente, pela necessidade de abordagem de um tema tão presente na sociedade através da divulgação científica."* Rodrigues (2001, p.23)

Segundo o autor (2001, p.65), é *"ênfatizado ao longo deste trabalho a necessidade de se inserir a Teoria da Relatividade no Ensino Médio dentro de uma perspectiva*

cultural. A veiculação do ícone Einstein na mídia de um modo geral tem exercido pressões no âmbito escolar, gerando assim um movimento de atualização do currículo da Física."

Em sua proposta, Rodrigues (2001, p.132) sugere uma *"utilização maior da história ao longo do processo, no intuito de integrar o aluno ao problema apresentado [...]* É necessário que o problema tenha um significado, que não deve ser estritamente científico." E afirma que sua proposta de ensino contempla uma abordagem construtivista.

Propõe três inserções localizadas ao longo dos três anos do EM, pois acredita que:

Assumir que a Relatividade seja inserida ao final do Terceiro Ano como um fechamento do Ensino Médio, está atrelado a uma concepção de atualização dos conceitos clássicos, ou ainda a idéia de uma complementação dos conceitos físicos [...] essa não é uma forma de pensar e agir coerente com os nossos propósitos, os quais visam a um ensino de Relatividade como obrigatório e indispensável, e não acessório. (RODRIGUES, 2001, p.133)

Rodrigues (2001, p.134) se baseia na organização curricular da Física adotada, em geral, pelas escolas do EM e constrói três módulos, um para cada ano do EM, com carga horária de 10 horas. Cada módulo aborda, segundo o autor, "um pilar fundamental da Relatividade". No 1º ano seriam introduzidas as *concepções de espaço e tempo relativísticas*; no 2º ano, as questões relativas ao *éter e campo* e no 3º ano, as *simetrias das leis físicas*, em especial no *eletromagnetismo*.

Os módulos seguem etapas que objetivam metas (2001, p.135). Na 1ª etapa, deve ser apresentado um problema contextualizado historicamente de forma que o aluno se sinta cúmplice do processo histórico-científico. Na 2ª etapa, a turma deverá ser separada em pequenos grupos, discutir o problema e elaborar um material contendo os conteúdos físicos envolvidos, suas implicações físicas ou históricas e sua possível solução.

Na 3ª etapa, o professor deverá conduzir discussões a respeito de cada item e explorar as relações existentes entre ciência e sociedade. Na 4ª etapa, o professor deverá apresentar formalmente o ferramental matemático que será utilizado nos exercícios, bem como a articulação deste com os conceitos. Estes exercícios objetivam avaliar e exercitar os conhecimentos adquiridos pelo aluno ao longo das etapas anteriores e depois de terminados, o professor deverá corrigi-los junto com a turma. Na 5ª etapa serão abordados dois aspectos do fazer científico: o caráter epistemológico e o histórico, *"que ultrapassa os limites da ciência, rumo à sociedade. O intuito é trazer a discussão para o cotidiano do aluno, conscientizando-os do funcionamento da comunidade científica e de seus reflexos na sociedade dentro da qual ele se insere."* (2001, p.136)

Realizamos o detalhamento de cada um desses módulos, em tabelas, destacando os aspectos científicos. O módulo do 1º ano, organizado na Tabela 3.6, deve ser inserido, em algum momento, após o professor ter trabalhado a noção de espaço, tempo e referencial.

1º ano do EM	
1ª etapa	Problema : o Paradoxo dos Gêmeos.
2ª etapa	Contextualização: retratar o momento em que Langevin busca divulgar as idéias de Einstein sobre a TR num meio social em que seus pares não eram ainda adeptos de tal teoria.
3ª etapa	Aspectos explorados: conceitos de espaço e tempo através do Princípio de Relatividade; importância do prestígio de um pesquisador durante a aceitação de suas idéias pela comunidade científica; implicações das novas concepções de espaço-tempo para a mecânica clássica; exploração das "inovações conceituais" por parte de filmes de ficção científica.
4ª etapa	Exercícios contemplando: o cálculo da contração do espaço ou dilatação do tempo para um observador que se encontra a velocidades próximas à da luz e o "paradoxo do buraco".
5ª etapa	Questionamentos a serem feitos: quais os mecanismos utilizados pela ciência para difundir suas idéias? qual a influência dessas idéias na sua vida diária? ou ainda, é lícita a postura de Langevin em utilizar (criar) situações sensacionalistas, sendo ele um cientista ?

Tabela 3.6: Módulo 1 de Rodrigues (2001)

Em relação aos exercícios sugeridos na 4ª etapa, Rodrigues (2001, p.138) destaca *"Com certeza, a efetivação desta lista de exercícios deverá ser precedida de uma breve explanação sobre as Transformações de Lorentz (TL), sem a preocupação da demonstração. No fundo, as TL devem assumir um papel de ferramenta para o aluno, e não de fim, como costumeiramente se faz no curso de Física."*

A inserção no 2º ano se encaixa depois da *Óptica Física*, ou na transição entre esta e a *Óptica Geométrica*. Na Tabela 3.7 enumeramos as etapas desse módulo. Rodrigues (2001, p.139) justifica o aprofundando na idéia da luz se propagar num meio não material (o campo), pois *"um tópico que tratasse sobre as discussões em torno do éter não poderia ser omitido num módulo sobre a TR, com perspectiva histórica."* O autor justifica que a 4ª etapa não será realizada, pois *"este é o único módulo que não contempla exercícios que exigem formalismos matemáticos."*

2º ano do EM	
1ª etapa	O problema reside então em decidir entre as duas teorias, aquela que deve ser adotada diante da sua coerência interna.
2ª etapa	Retrato histórico sobre as tentativas "frustradas" de detecção da velocidade da Terra em relação ao éter e que levaram, por um lado, à modificação na Teoria de Lorentz e por outro à proposição da Teoria da Relatividade Restrita.
3ª etapa	Os questionamentos que surgirão devem ser do tipo: qual dessas teorias é mais consistente? Quais as implicações conceituais dessas concepções? Por que se tenta preservar o éter?
4ª etapa	Não será realizada
5ª etapa	As discussões giraram em torno de cientistas famosos, como Lorentz, Galileo, Einstein e Newton, em relação a um questionamento crucial: a experiência em si, é o ponto crucial de uma teoria? Por que Einstein foi considerado como um revolucionário dentro do meio científico? Se a experiência é suficiente para o estabelecimento de uma teoria, por que esta última sofre modificações profundas de tempos em tempos?

Tabela 3.7: Módulo 2 de Rodrigues (2001)

Segundo Rodrigues (2001, p.140) o 3º ano *"possui um caráter de encerramento do Ensino Médio, e como tal, deve (pelo menos deveria) contemplar situações de caráter*

mais geral do ponto de vista teórico [...] no entanto, apenas o exercício dos formalismos presentes nas teorias do eletromagnetismo não é suficiente para fornecer ao aluno uma visão mais ampla da Física". E para dar conta disso se foca na "a coerência que deve existir numa interpretação dos fenômenos, independentemente do estado de movimento do observador (parado ou com velocidade constante)." A Tabela 3.8 descreve as etapas desse módulo.

3º ano do EM	
1ª etapa	abordar a simetria das leis físicas a partir do problema: o movimento relativo entre um ímã e uma espira condutora.
2ª etapa	a utilização do momento histórico da famosa formulação de Galileu sobre o Princípio de Relatividade na mecânica, na descrição dos objetos no navio.
3ª etapa	na apresentação deste deve-se questionar a validade deste princípio para os fenômenos eletromagnéticos.
4ª etapa	o professor deverá tratar questões como: se o PR é válido, e é um dos pilares da TR, como então assumir que o tempo passa mais devagar em um referencial que outro? Qual a interpretação adequada da Experiência de Ampère modificada? Por que a velocidade relativa não deve interferir na natureza do fenômeno?
5ª etapa	o aluno deverá ser questionado a respeito da mudança na sua visão de mundo depois da Relatividade. Será que a eterna busca por simetrias é uma característica inerente ao ser humano? Sabemos que o nosso cérebro avalia a beleza física de uma pessoa, também pela simetria das formas. As caretas, por exemplo, são assim chamadas, pois quebram a simetria do rosto. Nessa perspectiva, residirá aí também a eterna busca do cientista pela beleza da Física nas simetrias dos formalismos?

Tabela 3.8: Módulo 3 de Rodrigues (2001)

Rodrigues (2001, p.141) inclui alguns materiais de apoio sobre a *teoria da Relatividade* que poderiam ser utilizados na implementação da proposta, servindo de "subsídio para a inserção, tornando-a flexível e aberta o suficiente para se adaptar a diferentes situações de ensino."

3.3.2- Proposta: Dualidade onda-partícula

O trabalho de Brockington (2005) elabora, implementa e avalia uma seqüência didática com a finalidade de inserir a FMC no EM. Em relação à impossibilidade de aprender conceitos de FMC abstratos, o autor destaca:

É necessário, então, que o ensino de Física seja capaz de integrar o aluno ao invés de excluí-lo. A Física Moderna deve ser mostrada como uma construção humana, menos mística, e deve ser ensinada de forma que os alunos sejam seduzidos por ela, e não rejeitados [...] pode-se discutir questões fundamentais da construção das teorias e suas relações com a realidade, na tentativa de desenvolver nos alunos a satisfação intelectual que se tem ao compreender esses assuntos. (BROCKINGTON, 2005, p.20)

Brockington (2005, p.33) acredita que a busca por uma forma de compreensão dos conceitos quânticos no EM deve começar a partir de uma reflexão epistemológica, visto que *“Na Física Moderna, os modelos familiares deixam de ser operantes, pois não se têm como construir representações a partir deles.”* Esse afastamento do senso comum, segundo o autor, pode gerar no aluno um desconforto que se traduz em um sentimento de ausência de realidade.

Após discutir sobre o realismo científico, a fim de mostrar como a Física Quântica fornece elementos capazes de aprofundar a compreensão da realidade física Brockington (2005, p.35) destaca *“Cremos que seja de suma importância a presença destes elementos filosóficos e epistemológicos nas salas de aula, possibilitando não só a introdução de FMC no Ensino Médio.”*

E opta por abordar, em sua seqüência didática, o tema dualidade onda-partícula, pois ele *“encontra-se, implícita ou explicitamente, na raiz da maioria dessas discussões devido à impossibilidade de construção de representações clássicas para os objetos do mundo microscópico.”* (2005, p.53).

Brockington (2005, p.78) acredita que para tornar o ensino da FMC mais interessante e motivador (de modo que os alunos possam vislumbrar a nova maneira de perceber a realidade imposta por essa teoria) é *“necessário criar momentos nos quais seja possível levar os alunos a travarem discussões filosóficas, de caráter epistemológico e ontológico acerca das teorias físicas.”*

Segundo o autor, o principal objetivo do curso foi:

Mostrar aos alunos como a física apreende a realidade. [...] Esta característica do conhecimento físico foi o que nos motivou e originou sua criação. Nossa intenção era a de introduzir alguns conceitos da Física Quântica a partir de uma seqüência didática que permitisse apresentar aos estudantes a dualidade onda-partícula, revelando assim as características estranhas e deslumbrantes acerca da natureza da luz. (BROCKINGTON, 2005, p.127)

Brockington (2005, p.151) acredita que todo e qualquer ato educacional reflete um posicionamento epistêmico. Após analisar livros didáticos destinados ao EM, justifica: *“Para não incorrer nos mesmos erros que encontramos ao analisarmos os livros, optamos por um tratamento epistemológico no qual todas as quatro interpretações da Mecânica Quântica foram privilegiadas.”*

Em relação ao processo de elaboração do curso, destaca que um momento crucial foi a decisão entre tratar dos modelos clássicos ou não fazer referências a eles, salientando desde o início as características quânticas. A decisão pela utilização da Física Clássica e de modelos semi-clássicos foi:

[...] baseada na definição de um posicionamento epistemológico. Acreditamos que fosse preciso causar o estranhamento nos alunos, revelando outra visão de mundo, mostrando a ruptura profunda causada pela Física Quântica [...] Os problemas filosóficos da Teoria Quântica só seriam possíveis de serem explorados desta forma. (BROCKINGTON, 2005, p.155)

E a partir disso foram escolhidos para transpor para sala de aula os tópicos: *fótons, a quantização, estruturas atômicas modernas, a dualidade onda-partícula e a não-localidade*. Considera quais:

[...] saberes clássicos seriam imprescindíveis para o curso: características principais de ondas e partículas, eletromagnetismo clássico e modelos atômicos semi-clássicos. [...] Optamos por mostrar os aspectos fundamentais das entidades clássicas, o comportamento de seus modelos, bem como o processo de criação científica, desde o início do curso. (BROCKINGTON, 2005, p.156)

No início da elaboração do curso foram definidos os marcadores, os “*saberes cruciais para estabelecer as ligações entre os elementos constituintes da nova estrutura que criávamos.*” (2005, p.158). A estrutura final do curso foi construída com base em três “marcadores” principais: *modelos, espectros e dualidade*, como mostra a Tabela 3.9.

modelos
atividade “Ligue a TV”
Luz e cores
espectroscopia
átomo de Bohr
efeito fotoelétrico
dualidade onda-partícula

Tabela 3.9: Marcadores da proposta de Brockington (2005)

Segundo o autor, a atividade denominada “Ligue a TV”, foi criada para conectar os “marcadores principais”:

[...] de forma que fosse possível discutir todas as características das ondas e partículas, relacionando-as com a construção dos modelos na física e, ao mesmo tempo, conscientizando os alunos de suas semelhanças, diferenças e, principalmente, da impossibilidade de coexistência destas mesmas características em um só objeto. (BROCKINGTON, 2005, p.162)

Ao longo do curso foram inseridos temas secundários, exercícios, textos para leitura, apresentações em *Power Point* e outras atividades, porém não tivemos acesso a eles, pois como Brockington (2005, p.162) justifica: “*Estes são elementos que não se*

enquadram no que determinamos como marcadores principais, não sendo, portanto, analisados nesta dissertação."

Na construção do curso, foi necessário, segundo Brockington (2005, p.162) fazer desvios cronológicos, pois *"nosso compromisso era com os marcadores. Os outros saberes e atividades são inseridos de forma que possam fazer sentido dentro da nova estrutura gerada, mesmo que estes não estejam historicamente conectados na ordem por nós exposta."* No entanto o autor justifica que tais desvios podem ser úteis no ensino de ciência desde que seja salientado no início que se trata de uma reconstrução.

3.3.3- Proposta: Nuclear

Souza (2005) elabora uma proposta de inserção da FMC no EM. Sua dissertação tem como objetivo fornecer elementos para a inserção da educação ambiental pautada na concepção de meio ambiente globalizante, utilizando como eixo temático a *poluição nuclear*. Além de buscar uma abordagem interdisciplinar, propõe que *"o tratamento da poluição nuclear ocorra de tal modo, que permita a análise dos seus desdobramentos científicos, tecnológicos, ambientais, econômicos e sóciopolíticos."* Souza (2005, p.52).

Em relação à escolha do tema *poluição nuclear* o autor (2005, p.54) justifica que essa opção *"...teve como base a possibilidade do mesmo favorecer situações que contemplem uma aprendizagem mais ampla, ou seja, que contemple a discussão das dimensões científica, tecnológica e social."*

Destaca, também, outros aspectos que contribuíram para a definição do tema como a relevância da temática nuclear no contexto geopolítico e geoeconômico mundial, suas aplicações pacíficas e bélicas, a necessidade de inclusão da temática nuclear na

educação ambiental, tendo em vista os problemas decorrentes dos resíduos radioativos, a importância da discussão e aquisição pelos estudantes de uma postura crítica.

Segundo o autor, sua maior motivação na realização desse trabalho está em concordância com o que ressalta Lopes (1978):

[...] se cientistas e educadores não podem transformar sozinhos o mundo, podem pelo menos - principalmente no terceiro mundo contribuir para uma análise da situação existente em seus países e tentar entender a significação social do trabalho científico e de seu posicionamento político. (LOPES *apud* SOUZA, 1978, p.231).

Em relação à organização curricular, Souza (2005, p.205) organiza os "tópicos programáticos" em quatro "planos" com objetivos distintos. E ressalta *"que a ordem dos citados planos não implica na obrigatoriedade de um seqüenciamento linear de tais tópicos"*

O primeiro plano busca a compreensão da estrutura da matéria, da estabilidade nuclear, dos decaimentos radioativos nos aspectos fenomenológico e cinético e apresenta dois tópicos:

1. ESTRUTURA DA MATÉRIA E ESTABILIDADE NUCLEAR: Aborda aspectos conceituais sobre as partículas atômicas, partículas subatômicas, forças nucleares, modelos nucleares, relação nêutrons/prótons e da medida da estabilidade nuclear.

2. DECAIMENTOS RADIOATIVOS E CINÉTICA DO DECAIMENTO RADIOATIVO: Aborda aspectos conceituais qualitativos e quantitativos sobre os decaimentos radioativos naturais e artificiais, fissão e fusão nuclear, equações integrada e exponencial da lei cinética do decaimento radioativo, constante radioativa, tempo de meia-vida, vida média e unidades de radioatividade.

No segundo plano busca-se o entendimento da interação da radiação com a matéria e os efeitos das radiações e inclui apenas um tópico:

3. INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA E EFEITOS DA RADIAÇÃO: Aborda aspectos conceituais qualitativos e quantitativos sobre as interações alfa, beta, pósitron e gama, equações integrada e exponencial sobre a interação da radiação com a matéria, meia espessura e unidades de exposição e dose absorvida. E também aspectos

qualitativos sobre os efeitos térmicos, luminosos, elétricos, químicos e biológicos nos aspectos somáticos e genéticos provocados por radiações.

O terceiro plano destinado à compreensão das aplicações das reações nucleares e modos de geração de resíduos radioativos, inclui dois tópicos:

4. APLICAÇÕES DAS REAÇÕES NUCLEARES: Aborda aspectos conceituais sobre as aplicações das reações nucleares na arqueologia, geologia, medicina, química, agricultura, indústria, geração de energia por fissão nuclear, e armas nucleares.

5. POLUIÇÃO NUCLEAR: abordando aspectos conceituais sobre as fontes de poluentes radioativos, os tipos de rejeitos radioativos, os efeitos ambientais associados a tais rejeitos, os procedimentos para descarte dos rejeitos radioativos em termos de tratamento e armazenagem.

E o quarto plano se destina às questões históricas e geográficas inerentes ao desenvolvimento, incluindo três tópicos:

6. ASPECTOS HISTÓRICOS, GEOPOLÍTICOS e AMBIENTAIS DAS ARMAS NUCLEARES: Aborda aspectos históricos e geopolíticos sobre a evolução histórica desde das primeiras descobertas sobre radioatividade até a realização da primeira reação em cadeia; da criação e evolução do projeto Manhattan; dos eventos de Hiroxima e Nagasaki; da corrida armamentista e a guerra fria; dos testes nucleares e a proliferação dos arsenais nucleares; da possibilidade da terceira guerra mundial e do inverno nuclear; dos tratado de redução e não proliferação de armas nucleares; dos riscos do terrorismo com armas de destruição em massa de natureza radioativa e nuclear; dos custos econômicos e conseqüências ambientais na desativação de armas nucleares; bem como das posturas da comunidade científica frente às armas nucleares.

7. ASPECTOS HISTÓRICOS, GEOPOLÍTICOS E AMBIENTAIS DO USO PACÍFICO DA ENERGIA NUCLEAR: Aborda aspectos históricos, geopolíticos e ambientais sobre a evolução do uso da energia nuclear; dos principais acidentes radioativos e nucleares; dos marcos históricos de Three Mile Island, Chernobyl e Goiânia; do atual panorama econômico e político para o uso da energia nuclear; dos custos econômicos e das conseqüências ambientais do tratamento e armazenamento de resíduos radioativos e na desativação de usinas nucleares.

8. ASPECTOS HISTÓRICOS, GEOPOLÍTICOS E AMBIENTAIS DO PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO (PNB): Aborda aspectos históricos, geopolíticos e ambientais sobre os primórdios do PNB (décadas de cinquenta e sessenta); do acordo de Angra I; do acordo Brasil - Alemanha; do programa nuclear na década de noventa; do programa nuclear paralelo; da postura da comunidade científica nacional frente ao PNB; do atual panorama do PNB; dos custos econômicos e possíveis conseqüências ambientais da continuidade e expansão do PNB.

3.3.4- Síntese dos resultados

Em relação ao que já foi discutido sobre os principais temas que estão presentes nas propostas de inserção da FMC no EM, aquelas que tratam do tópico *Relatividade* se restringirem aos aspectos científicos. Percebemos que Rodrigues (2001, p.23) explicita essa idéia, ao justificar que a inserção da Relatividade no EM, *“não pode residir no fato desse conteúdo permitir a compreensão de avanços tecnológicos que nos circundam.”* Com exceção do aparelho GPS, e mesmo assim a Teoria da Relatividade está presente apenas para a correção “teórica” na transmissão dos sinais.

No entanto, apesar de Rodrigues (2001, p.26) destacar a importância dos conhecimentos da FMC para a compreensão dos avanços científicos, sua justificativa para a inserção da Teoria da Relatividade no EM pretende que se contemplem também os aspectos históricos e culturais.

Rodrigues (2001) parte de problematizações, como mostramos nos módulos, para inserir os aspectos científicos, mas utiliza aspectos históricos não articulando com o aspecto tecnológico. Isso se deve ao fato do tema escolhido, Relatividade, ter um caráter mais abstrato e distante do cotidiano do aluno. A não ser, como o autor destaca, pelo fato da presença da figura de Einstein na mídia, que pode fazer parte no cotidiano dos alunos do EM.

Percebemos em nossa análise que Rodrigues (2001) insere a FMC, em específico o assunto Relatividade, contemplando os objetivos educacionais da primeira categoria, apresentada no capítulo 1, que privilegiam questões da própria ciência. Ao justificar sua proposta de inserção de FMC no EM, explicita como fundamental *“a mudança de padrão de raciocínio e interpretação da realidade aliada à abstração e sofisticação do pensamento”*, afirmando que *“discussões que destacam o desenrolar natural da ciência enquanto atividade humana devem ser abordadas no Ensino Médio”*.

E também, ao contemplar os aspectos históricos, percebemos que a concepção adotada por Rodrigues (2001) considera que um *"problema contextualizado historicamente deve ser apresentado à sala, de maneira que o aluno se sinta cúmplice do processo histórico-científico"* ou justifica a necessidade de *"trazer a discussão para o cotidiano do aluno, conscientizando-os do funcionamento da comunidade científica."*

Ao elaborar sua proposta, Rodrigues (2001, p.134) parte de aspectos conceituais, abordando em cada módulo *"um pilar fundamental da Relatividade"*. Estrutura sua proposta a partir das concepções de espaço e tempo relativísticas (1º ano), das questões relativas ao éter e campo (2º ano) e das simetrias das leis físicas, em especial no eletromagnetismo (3º ano).

Apesar do autor defender uma proposta de caráter qualitativo, ele insere uma etapa que contempla em seu módulo questões quantitativas, que segundo ele, em outro artigo citado abaixo, *"facilita o surgimento de abordagens meramente técnicas"*.

Dentro do panorama atual, com certeza o fato das Transformações de Lorentz serem de fácil manuseio – e por isso pôde ser proposta tanto para o EM quanto para o UB – facilita o surgimento das abordagens meramente técnicos, e isso faz com que seja reforçada não apenas a deficiência na atuação dos professores, mas principalmente a idéia do ensino de física como sendo voltada para formação de cientistas e não cidadãos. (RODRIGUES e OLIVEIRA, 2000, p.11)

Brockington (2005, p.20) afirma que a FMC *"deve ser mostrada como uma construção humana, menos mística, pode-se discutir questões fundamentais da construção das teorias e suas relações com a realidade, na tentativa de desenvolver nos alunos a satisfação intelectual que se tem ao compreender esses assuntos."* Brockington (2005, p.78) propõem *"discussões filosóficas, de caráter epistemológico e ontológico acerca das teorias físicas."* Ou seja, relações lógicas, causais, que também dizem respeito às questões internas da própria ciência.

No entanto Brockington (2005, p.19) reconhece que *“o ensino da Física por meio de uma abordagem que considera o papel da tecnologia é fundamental. Tem-se, ao tratar o conteúdo teórico a partir de situações retiradas do dia-a-dia do aluno, uma maior possibilidade do estabelecimento de vínculos com o seu cotidiano.”*

Brockington (2005) tem a preocupação de caráter didático de não torná-la demasiadamente técnica ou apresentar os aspectos científicos de maneira apenas informativa. No entanto, ao elaborar sua proposta, da mesma maneira que Rodrigues (2001), parte de aspectos conceituais (espectroscopia e dualidade onda-partícula) e modelos para construir a estrutura de sua proposta, o que ele denomina como “marcadores principais”.

Para facilitar a compreensão da estrutura curricular de Souza (2005), construímos a Tabela 3.10, na qual classificamos os aspectos contemplados por ele em cada tópico.

Aspectos contemplados	Planos	Tópicos
Científicos	1º	1. ESTRUTURA DA MATÉRIA E ESTABILIDADE NUCLEAR 2. DECAIMENTOS RADIOATIVOS E CINÉTICA DO DECAIMENTO RADIOATIVO
	2º	3. INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA E EFEITOS DA RADIAÇÃO
Tecnológicos (e sociais)	3º	4. APLICAÇÕES DAS REAÇÕES NUCLEARES 5. POLUIÇÃO NUCLEAR
	4º	6. ASPECTOS HISTÓRICOS, GEOPOLÍTICOS e AMBIENTAIS DAS ARMAS NUCLEARES 7. ASPECTOS HISTÓRICOS, GEOPOLÍTICOS E AMBIENTAIS DO USO PACÍFICO DA ENERGIA NUCLEAR 8. ASPECTOS HISTÓRICOS, GEOPOLÍTICOS E AMBIENTAIS DO PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO (PNB)

Tabela 3.10: Aspectos contemplados na organização curricular de Souza (2005)

Percebemos que a organização curricular de Souza (2005) apesar de contemplar as dimensões científica, tecnológica e social incluindo os desdobramentos científicos, tecnológicos, ambientais, econômicos e sócio-políticos, não articula internamente tais aspectos, separando-os em três blocos distintos, dentro de sua proposta. Inicialmente são abordados os aspectos científicos, depois os tecnológicos e por fim os sociais e culturais.

Apesar do autor ter selecionado o tema *poluição nuclear* em sua proposta de inserção de FMC no EM, percebemos que ele não realizou uma seleção de conteúdos em sua organização curricular. Como podemos verificar nos tópicos 1, 2 e 3 que contemplam os aspectos científicos, são sugeridos muitos conceitos físicos para serem abordados. Mesmo em relação aos aspectos social e político, percebemos uma grande quantidade de assuntos a serem tratados. Souza (2005) não especifica como sua proposta deve ser inserida em sala de aula ou o tempo necessário para o desenvolvimento de cada tópico, e não propõe ou sugere atividades.

Portanto, diante de todo o vasto conjunto de conhecimentos contemplados pela Física do século XX, percebemos tanto na análise que realizamos dos livros didáticos, no Capítulo 2, assim como nas propostas apresentadas nesse capítulo uma diversidade de objetivos educacionais a serem privilegiados.

CAPÍTULO 4

Propostas e intervenções

A necessidade de inserir a Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio (EM) tem sido, como vimos nos capítulos anteriores, objeto de discussões, propostas e análises em diferentes âmbitos: nas pesquisas em ensino de Física, em diretrizes e parâmetros educacionais (como os PCN's) e em diferentes fóruns de discussão e apresentação de trabalhos em encontros e simpósios da área, envolvendo professores, estudantes e pesquisadores.

Ao tomar contato com essas propostas, podemos verificar uma diversidade de concepções, estratégias, seleção e organização dos conteúdos a serem tratados. E isso se justifica, pois, na medida em que a Física do século XX trata de um conjunto amplo de tópicos, idéias, conceitos, fenômenos e visões de mundo, ainda não se delineou com clareza quais os recortes mais apropriados. Assim cada proposta, texto ou professor, ao selecionar quais aspectos desse conhecimento quer privilegiar, quais objetivos e estratégias pretende adotar, está construindo o seu próprio recorte, em caráter experimental.

Paralelamente, como vimos, os livros didáticos de Física, voltados para o Ensino Médio estão incorporando a FMC de uma maneira que não privilegia os objetivos formativos desejados. Os livros apresentam uma versão reduzida do conhecimento da

FMC contemplado nos livros de Ensino Superior que, certamente, tem objetivos formativos muito diferentes. Dessa maneira a abordagem que é realizada não possibilita a apropriação da nova compreensão de mundo introduzida pelos conhecimentos científicos que abarca, nem dos desenvolvimentos tecnológicos associados ou das implicações e transformações sociais.

Para buscar formas de inserção da FMC que contemplem os objetivos desejados, desenvolvemos duas intervenções: “***E=mc²: propostas para a sala de aula***” e “***Energia Nuclear: propostas para a sala de aula***”, que incluem recortes e abordagens diferenciadas. Essas propostas foram desenvolvidas e apresentadas em cursos de educação continuada, dirigidos a professores de Física do Ensino Médio, e procuravam investigar possíveis alternativas para essa inserção.

Um aspecto que se mostrou relevante, durante a elaboração das duas propostas, foi o fato de que, por se tratar de recortes pouco freqüentes nos materiais didáticos disponíveis, foi necessário conceber e (re)elaborar novos materiais e atividades, buscando superar os problemas dos manuais didáticos e da prática docente tradicional.

Nosso primeiro desafio foi definir os temas e conteúdos que comporiam um recorte da FMC, tendo em vista um ensino que possibilite aos estudantes a aquisição de uma visão de ciência integrada à cultura e à sociedade, capacitando-os para compreender e atuar no mundo em que vivem e, portanto, que contemple conhecimentos físicos do mundo real, presentes no cotidiano, com suas relações e implicações tecnológicas e sociais e integrantes da história e da cultura humana.

Também fizemos uma particular escolha na forma de desenvolver nossas intervenções. Como nosso principal objetivo era possibilitar o tratamento desse tema em sala de aula, mais do que “ensinar” ou sugerir aulas prontas e fechadas, optamos por uma estratégia que pudesse orientar e envolver a participação dos professores na construção

de possíveis propostas para seus próprios cursos. Dessa maneira, nossas propostas não pretendiam estabelecer um delineamento fechado, mas apenas disponibilizar elementos para que o próprio professor elaborasse a proposta que melhor se adequasse ao contexto de sua escola ou turma.

O objetivo principal desse capítulo é caracterizar as duas intervenções que desenvolvemos, justificando cada proposta, descrevendo a estrutura, especialmente em termos da organização e seleção dos conteúdos, e também as estratégias adotadas, as atividades desenvolvidas e a natureza dos dados e registros propiciados.

4.1- Intervenção $E=mc^2$: propostas para a sala de aula

4.1.1- Caracterização e justificativa

A primeira intervenção realizada foi o curso de atualização denominado **$E = mc^2$: propostas para a sala de aula**, o qual foi preparado¹⁵ ao longo de 2005, como parte do programa de eventos do ano mundial da Física, desenvolvido no Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP).

O curso foi oferecido pelo ProFis¹⁶ em janeiro de 2006, com carga horária total de 30 horas-aula, tendo como público alvo professores de Física do EM e visando apresentar materiais e propostas de atividades para a sala de aula. O tema principal do curso foi a equação de Einstein $E=mc^2$, abordando seus significados, sua história, seus

¹⁵ Este curso foi preparado por um grupo, do qual a autora dessa dissertação faz parte, formado pelos alunos: André M. Rodrigues, Leonardo Crochik, Marcília Elis Barcellos, Rafael Correa, Renato Pugliese e coordenado pela Prof^a Dra Maria Regina D. Kawamura e Prof^a Sônia Salem. Tivemos apoio financeiro da Sociedade Brasileira de Física (SBF), no Projeto Ano Internacional da Física.

¹⁶ Espaço de Apoio, Pesquisa e Cooperação de Professores de Física:
<<http://www.if.usp.br/profis/>>

desdobramentos na ciência, tecnologia e sociedade, bem como suas aplicações no mundo contemporâneo.

As atividades do curso, realizado no Instituto de Física da USP, foram desenvolvidas em duas etapas. Na primeira, denominada etapa "intensiva", foi apresentado um panorama geral dos conhecimentos envolvidos e relacionados à equação $E=mc^2$, além de discutir alguns dos possíveis temas e formas de desenvolvê-los em sala de aula. Essa etapa, com duração total de 21 horas-aula, ocorreu nos dias 30/01/2006, 31/01/2006 e 01/02/2006. A segunda etapa foi centrada na elaboração de atividades voltadas diretamente para a sala de aula, que fossem adequadas à realidade dos professores e que, por isso, exigiu uma participação ativa e criativa dos mesmos. Essa etapa, com a duração total de 9 horas-aula, foi realizada em três sábados, nos dias 08/04/2006, 06/05/2006 e 03/06/2006, ao longo, portanto, do semestre letivo subsequente. A idéia inicial, na etapa intensiva, foi oferecer e discutir as ferramentas que os professores do ensino médio precisariam para, na etapa seguinte, desenvolver suas próprias atividades.

A escolha da expressão $E=mc^2$ como núcleo central e problematizador, foi pautada na dupla vocação deste tema, a de promover ao mesmo tempo uma síntese e a abrangência de um grande conjunto de conhecimentos científicos e seus desdobramentos tecnológicos, éticos e sociais. Ao lado dos aspectos conceituais, que envolvem a discussão de conceitos físicos fundamentais, como massa e energia, tratados na Física Clássica do EM, essa expressão não só traz novos significados a esses conceitos, como propicia um novo olhar para o mundo e para a ciência. Além disso, também descortina e se associa a uma gama de novos conhecimentos científicos, como o domínio da energia nuclear e o mundo das partículas subatômicas, com suas manifestações no cotidiano, implicações tecnológicas e sociais.

No caso, por exemplo, de suas relações com a energia nuclear, possibilita a discussão quer de conceitos como os de fissão e fusão nucleares, como o debate sobre seus usos, benefícios e riscos ou, ainda, a contextualização acerca da construção desse conhecimento - suas origens, seus principais atores, limites e impasses. As diferentes leituras e interpretações dos conhecimentos representados por essa relação permitem tratar da questão da subjetividade na ciência e propiciar uma visão desta como construção humana, com limites, problemas, entraves, benefícios e riscos.

A esse potencial integrador de conhecimentos e abordagens, esse tema apresenta, ainda, características relevantes do ponto de vista didático-pedagógico. Por um lado, trata de um conteúdo instigante, popularmente conhecido, mas de fato, profundamente desconhecido, presente na mídia, o que possibilita acessar um material diversificado como revistas, jornais, internet, textos históricos e manuais didáticos. Isso é favorável, também, para a elaboração de atividades diversificadas, que podem partir de situações e problemas reais presentes no mundo atual e em suportes que, tanto o professor, como o aluno do EM têm acesso.

Por outro lado, a escolha desse recorte pode atender a uma dificuldade freqüentemente manifestada pelos professores do EM, que diz respeito às possibilidades de introdução de novos temas, sobretudo da FMC, em um currículo que não os contempla previamente, constituído do tradicional “rol” de conteúdos da Física Clássica. Nesse caso, a proposta também se mostra adequada, uma vez que pode ser desenvolvida como um único bloco temático, em dado momento do curso, ou como um conjunto de unidades de ensino associadas a um particular tópico da Física em estudo.

Em Mecânica, por exemplo, há espaço para inserir esse tema no tratamento de conceitos como massa, energia e conservação; na Física Térmica, é possível associar e discutir a relação massa-energia na conservação e transformações de energia em

máquinas térmicas ou no corpo humano; no Eletromagnetismo, em discussões sobre geração de energia elétrica, nas interações envolvidas no átomo e no núcleo atômico, ou mesmo em tópicos sobre matéria e radiação.

4.1.2- Estrutura do curso

Apresentamos na Figura 4.1, uma representação da estrutura geral do curso, com os temas, abordagens e desdobramentos tratados em sua primeira etapa. Este “mapa de referência”, tal como as muitas e diversificadas formas de representação de relações entre conteúdos, temas, conceitos, teorias, corresponde a um possível arranjo para representar a organização dos temas e conteúdos que utilizamos na elaboração de nossa proposta. E como toda representação, não apenas tem implícita uma concepção, um dado olhar para o objeto que está sendo representado, como necessariamente faz simplificações.

Figura 4.1: Mapa de referência do curso $E=mc^2$: Propostas para a sala de aula

As três colunas (a, b, c) correspondem aos três aspectos ou ênfases principais relacionados à equação $E=mc^2$:

- na coluna (a), os aspectos científico-conceituais, que englobam os principais conteúdos, conceitos, modelos e teorias físicas associados à equação nos três campos da Física destacados.
- na coluna (b), os aspectos cotidianos, tecnológicos e sociais, abrangendo as manifestações da relação massa-energia em fenômenos, equipamentos, sistemas presentes no cotidiano e no mundo contemporâneo, além das tecnologias envolvidas e implicações sociais, ambientais, econômicas.
- na coluna (c), os aspectos históricos, culturais e sociais, que englobam as diferentes visões dos conceitos de massa e sua relação com energia em diferentes épocas ou culturas, o contexto e a trajetória histórica que “levou” à equação $E=mc^2$ com seus diferentes atores e, em particular, os trabalhos de Einstein. E, também, a apropriação desse conhecimento na construção da bomba atômica e os modelos utilizados para explicar a origem e “vida” das estrelas ou para calcular a idade do Sol ao longo da história da ciência.

As três linhas (1, 2 e 3) do mapa de referência correspondem aos três “campos” da Física privilegiados nesta proposta, aos quais a equação $E=mc^2$ pode ser associada: significados e leituras da relação $E=mc^2$, Física Nuclear e Cosmologia.

Na primeira linha que destaca os significados e leituras da relação $E=mc^2$, problematizamos o conceito de massa e de energia segundo diferentes concepções, no cotidiano, na Física Clássica e na teoria da Relatividade. A relação massa-energia, em especial, é tratada com três enfoques diferentes, seus significados e interpretações, sua

abrangência e limites e suas diferentes deduções lógico-formais. É abordada também a origem da relação $E = mc^2$ e o contexto histórico-científico no qual ocorreu a evolução e a transformação de idéias e conceitos.

Na segunda linha relacionamos a equação $E=mc^2$ com a Física Nuclear. Entre os aspectos conceituais, abordamos conteúdos de energia de ligação, instabilidade do núcleo atômico e força nuclear, radioatividade natural e artificial, liberação da energia nuclear nos processos de fissão e fusão, com os correspondentes “balanços” de massa-energia. Tratamos dos usos da energia nuclear na medicina, na indústria, na agricultura, na saúde e nos reatores, além dos desusos em armamentos e bombas atômicas, discutindo e contrapondo seus custos, riscos e benefícios. Também estão incluídas questões históricas, políticas e sociais, como a discussão do projeto Manhattan e os incidentes nas cidades de Hiroshima e Nagasaki.

A terceira linha representa um outro recorte possível, associado à expressão $E=mc^2$: a Cosmologia. Aqui, podemos tratar noções sobre partículas elementares e constituição da matéria estelar, aniquilação da matéria, o nascimento, vida e morte das estrelas e a evolução dos modelos que explicam o processo e as diferentes maneiras utilizadas, em diferentes períodos históricos, para estimar a idade e o tempo de vida do sistema solar.

É importante observar que essa estrutura não foi o nosso ponto de partida, mas o quadro que emergiu do desenvolvimento do curso, a partir de intensa elaboração e discussão. É uma forma, ao mesmo tempo, de explicitar e sintetizar os enfoques trabalhados. Mais do que o conteúdo de cada “célula” da matriz, parece-nos fundamental a estruturação fornecida por esse tipo de organização (sob forma de matriz), especialmente para que os professores pudessem se situar e fazer as opções sobre quais aspectos passariam a privilegiar em suas próprias salas de aula.

4.1.3- Atividades desenvolvidas

Passamos a descrever, de forma sucinta, as atividades desenvolvidas na primeira etapa do curso. A Tabela 4.1 abaixo apresenta o programa desenvolvido nessa etapa. No planejamento e organização do curso, especialmente considerando seu formato concentrado, buscamos desenvolver atividades bastante diversificadas, com a preocupação de um protagonismo constante por parte dos alunos-professores, especialmente através de discussões, levantamentos, questionamentos, resolução de questões, etc.

	DIA 30/01/06	DIA 31/01/06	DIA 01/02/06
8h30 às 10h15	APRESENTAÇÃO Discussão inicial	ENERGIA NUCLEAR Problematização (Ativ. 4A)	COSMOLOGIA (Sol) (Ativ. 6A)
10h45 às 12h30	Levantamento Temático (Ativ. 1A) $E=mc^2$: aplicações (Ativ. 2A)	A Energia Nuclear e a relação $E=mc^2$	Contexto Histórico e Cultural (Palestra)
14h00 às 15h30	$E=mc^2$: novos conceitos e novos significados	Visita a um reator nuclear	SÍNTESE GERAL
15h45 às 17h00	$E=mc^2$: novos conceitos e novos significados (Ativ. 3A)	Aplicações da Energia Nuclear (Ativ. 5A)	$E = mc^2$ na sala de aula AVALIAÇÃO E PROPOSTAS

Tabela 4.1: Programa da etapa intensiva do curso $E = mc^2$ propostas para a sala de aula

Iniciamos o curso discutindo sobre as possibilidades da inserção de temas novos no EM, em especial, da relação $E=mc^2$. Para orientar essa discussão, sugerimos algumas perguntas aos professores, como, por exemplo: Qual o seu significado, sua importância, suas aplicações e usos? Em que medida é possível compreendê-la ou ensiná-la? O que isso pode acrescentar na formação de um estudante em nível médio ou de um cidadão, de modo geral? Passamos, então, a esboçar, em conjunto, algumas respostas. O sentido

geral dessa atividade introdutória foi buscar instaurar um diálogo que tivesse já como foco suas práticas docentes em sala de aula.

Em seguida, realizamos um levantamento temático (Atividade 1A) de palavras, conceitos, dispositivos, objetos, pessoas, imagens, situações etc, que, de alguma forma, os professores-alunos considerassem associados, relacionados ou remetessem à relação $E=mc^2$. A sistematização dos vários aspectos do tema foi realizada segundo agrupamentos em grandes conjuntos: (i) fenômenos e aspectos conceituais, (ii) aspectos tecnológicos e cotidianos e (iii) aspectos, históricos e sociais. Ainda que apenas de forma implícita, já estavam delineadas as “colunas” de nossa matriz, que apresentamos na Figura 4.1.

Optamos por “operacionalizar” o sentido da equação antes mesmo de aprofundar muito seu significado. Com esse intuito, procuramos estimular os professores a verificar como essa expressão poderia ser aplicada em algumas situações conhecidas (Atividade 2A). Essa atividade consistia em um roteiro de perguntas¹⁷, envolvendo o cálculo de acréscimos de massa em situações “cotidianas” como, por exemplo, no aquecimento de uma certa quantidade de água, em uma reação de combustão, e também o cálculo do preço de um “grama” de luz.

A partir da discussão dos resultados obtidos nessa atividade (e já no primeiro período da tarde) aprofundamos os conceitos e significados da relação $E=mc^2$, e os “novos” sentidos atribuídos aos conceitos de massa e energia e ao princípio da conservação de energia. Essa etapa foi expositiva, incluindo uma das deduções formais da relação massa-energia e discutindo em conjunto a abrangência e os limites dessa expressão. Finalizamos com um novo levantamento (Atividade 3A) dos significados da

¹⁷ O roteiro dessa atividade se encontra no anexo: Atividade 2A: $E=mc^2$: umas continhas

expressão e comparamos com o levantamento inicial. Os professores listaram, então, em grupo, as dúvidas que persistiam em relação à expressão $E=mc^2$.

Portanto, neste primeiro dia, focalizamos a física envolvida na expressão $E=mc^2$, problematizando os conceitos de massa, de energia e suas relações na física clássica e a nova interpretação, estabelecida pela teoria da relatividade. Em relação ao mapa de referência apresentado na Figura 4.1, podemos dizer que percorremos a primeira linha, com destaque nas colunas a e b.

No segundo dia, abordamos a Energia Nuclear e sua relação com a equação $E=mc^2$. Iniciamos com uma problematização (Atividade 4A) a partir da questão: *O que a energia nuclear “tem a ver” com $E = mc^2$?* No período da manhã, foram discutidos alguns conceitos, como a instabilidade de núcleos, enfocando sua relação com a equação $E=mc^2$, com o intuito de aproximar os professores da questão. Essa abordagem levou também à discussão (em grupos) sobre os “usos e desusos” da Energia Nuclear.

No primeiro período da tarde realizamos uma visita ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)¹⁸, para conhecer um reator nuclear. Essa visita contribuiu para o aprofundamento de algumas questões e possibilitou um contato “direto” com uma de suas aplicações. Surgiram muitas “interrogações e exclamações” como resultado dessa atividade, sendo que nenhum dos professores já tinha tido visto ou visitado um reator.

Finalizamos o dia com uma atividade¹⁹ (Atividade 5A), que tratava das aplicações da Energia Nuclear e das radiações. Dividimos os professores em grupos e distribuímos a cada um deles um texto que abordava aplicações da Energia Nuclear na pesquisa, na saúde, na indústria, na agricultura e na segurança e indústria bélica. Cada grupo discutiu

¹⁸ Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN): <<http://www.ipen.br/>>

¹⁹ Essa atividade encontra-se no anexo: Atividade 5A: $E=mc^2$: Aplicações da Energia Nuclear e das Radiações.

seu tema e elaborou três questões. Em seguida realizamos uma discussão geral sobre os benefícios e riscos da utilização da Energia Nuclear.

No terceiro dia, no período da manhã, abordamos outro desdobramento da relação $E=mc^2$, a aplicação dessa relação no nível astronômico ou cosmológico. Iniciamos com uma problematização, voltada para uma futura aplicação em sala de aula do EM, a partir das questões: *Afinal, de onde vem a energia do Sol? Como ela é “fabricada”? Desde quando? Não vai acabar um dia?*

Tratamos da origem dessa energia, discutindo a fusão nuclear e realizamos uma atividade²⁰ (Atividade 6A) na qual estimamos a “idade” do Sol, assim como quanto tempo lhe resta de “vida”. Verificamos, através dessa atividade, a validade ou não de algumas hipóteses sobre a origem da energia solar, historicamente superadas, mas possivelmente presentes no senso comum e no pensamento dos nossos alunos do EM como, por exemplo, a da combustão.

O outro desdobramento, envolvendo aspectos culturais e/ou históricos, foi contemplado na palestra *“Einstein e a Cultura”*, apresentada pelo Prof. Dr. João Zanetic, na qual foram discutidas as contribuições de Albert Einstein em diferentes campos, não apenas da Física. E também aspectos da educação e da cultura, as conjunturas políticas e sociais da época, sua influência na literatura e as visões de mundo de cientistas. Acreditamos que essa abordagem é essencial, em um curso voltado para professores de Física, pois permite a compreensão de aspectos epistemológicos da ciência e a possibilidade da inserção em sua prática, nas salas de aula, proporcionando aos alunos uma visão de ciência como construção humana, inserida no contexto histórico e social de uma época.

²⁰ Essa atividade encontra-se no anexo: Atividade 6A: $E=mc^2$: O sol

No período da tarde realizamos uma síntese geral dessa primeira etapa do curso e centramos nossa discussão nas possibilidades de “levar” a equação $E=mc^2$ para a sala de aula do Ensino Médio. Realizamos a última atividade (Atividade 7A), na qual os professores elaboraram sínteses (em grupo) dos conhecimentos estabelecidos e também das dúvidas e/ou questões que continuaram em aberto.

No encerramento dessa etapa, apresentamos a proposta de como seriam os desdobramentos do curso em sua segunda fase. Discutimos algumas idéias de como desenvolver atividades para serem aplicadas em sala de aula e propusemos os encontros em futuros sábados.

A segunda etapa do curso *$E=mc^2$: propostas para a sala de aula* visava a elaboração de atividades e estratégias didáticas, por parte dos professores, a serem desenvolvidas em suas próprias salas de aula, passando a exigir uma participação mais ativa e criativa deles mesmos. Assim, dedicamos os três encontros realizados nessa segunda etapa, em três sábados ao longo do 1º semestre de 2006, às discussões e “co-elaboração” dessas possíveis atividades. Em conjunto com os professores, foi possível apresentar e trocar idéias, testar algumas das atividades entre nós e debater a respeito de sua viabilidade, suas possíveis formas de apresentação e seus limites para serem aplicadas nas salas de aula.

Inicialmente é importante destacar o que entendemos, nesse contexto, por “atividade”. É comum relacionar essa expressão com atividade experimental, prática ou simplesmente com exercícios e problemas a serem resolvidos pelos alunos. Mas, de uma forma mais geral, estamos utilizando esse termo para diferentes estratégias e ações a serem desenvolvidas com os alunos. Pretendíamos desenvolver, em conjunto com os professores, atividades que visassem a solução de um desafio ou de um problema real contextualizado, que fizesse sentido para o aluno. Através de ações e estratégias em que

os alunos participassem ativamente, utilizando seus conhecimentos, criatividade, imaginação, trabalhando em conjunto com colegas e professores, trocando e debatendo idéias, esperava-se que pudessem apresentar argumentos ou soluções para algumas questões.

No primeiro encontro dessa etapa, procuramos retomar as discussões anteriores sobre as possibilidades de inserção da FMC no ensino médio, com questões como: *Há condições de inserir esse tema em sala de aula no EM? Como? Em que série? Em que momento(s) do curso? Com qual duração? Quais temas poderiam ser selecionados? Quais estratégias seriam possíveis e interessantes para abordá-los? Existiriam dificuldades? Há outros temas que seriam mais apropriados?* No entanto, os professores apresentaram resistência nessa discussão em termos mais concretos, tendo em vista as mais variadas dificuldades em suas práticas docentes, quer em sala de aula, como a indisciplina, desinteresse dos alunos, falta de conhecimentos anteriores, dificuldades na escrita e leitura, quer relativas às suas condições de trabalho, e organização da escola, reiterando o conjunto de problemas que sabemos caracterizar a escola pública atual.

Tínhamos solicitado aos professores, na primeira etapa do curso, que elaborassem para esse primeiro encontro um pequeno esboço ou um resumo de uma possível proposta relacionada ao assunto $E=mc^2$ e as possíveis formas de trabalhá-la com os alunos, que era o ponto central da segunda etapa do curso. No entanto, nenhum dos professores trouxe propostas. Reiteramos e insistimos na solicitação, distribuindo aos professores materiais relacionados ao sub-tema *Energia Nuclear e a relação $E=mc^2$* , propondo que eles esboçassem, para o segundo encontro, uma proposta de atividade, utilizando esses materiais como fonte de idéias.

Percebendo a dificuldade que os professores tiveram em propor uma atividade, optamos por mudar um pouco nossa estratégia, desenvolvendo nós mesmos uma

atividade, a título de exemplo, que poderia, talvez, contribuir para a inspiração e elaboração de outras possíveis. Assim, no segundo encontro, realizamos com os professores uma atividade²¹ denominada: *Onde a Energia Nuclear está presente em nosso mundo cotidiano?* Essa atividade poderia ser realizada em salas de aula do EM antes de se inserir os conhecimentos físicos relacionados, como motivação inicial para fazê-lo, ou também, poderia ser seguida de algum trabalho posterior associado ao tema, de forma a consolidar e enriquecer os conhecimentos em desenvolvimento.

No terceiro e último encontro, estavam presentes apenas cinco professores. Conversamos sobre suas dificuldades, de maneira geral, e alguns relataram as atividades que conseguiram realizar com seus alunos ou que estavam em desenvolvimento. Além disso, eles realizaram, individualmente, uma avaliação individual do curso. Ao longo dessa segunda etapa do curso desenvolvemos quatro sugestões de atividades²², para serem aplicadas em sala de aula, visando à inserção da FMC.

Depois de concluído o curso, tentamos consultar por *e-mail* a disponibilidade e interesse dos professores, para termos um retorno das aplicações que eles fizeram nas salas de aula, mas foi muito difícil o contato e infelizmente não conseguimos marcar novos encontros.

4.1.4- Acompanhamento e avaliação

Para levantar o perfil dos professores que participaram do curso, eles preencheram uma ficha de inscrição, no entanto recebemos, ainda na primeira etapa do curso apenas 11 fichas. Apenas dois dos professores que participaram do curso não

²¹ Essa atividade é a mesma que a Ativ.1B do curso *Energia Nuclear: propostas para a sala de aula*, portanto iremos descrevê-la, a seguir, no item 4.2.3.

²² Essas atividades encontram-se no anexo: Atividades desenvolvidas ao longo da 2ª etapa do curso.

lecionavam e eram ainda alunos da graduação. Entre os professores que lecionavam, quatro trabalham em escola pública e cinco em escola privada. Um professor lecionava há menos de um ano, quatro professores, de 1 a 5 anos, dois de 6 a 10 anos e dois de 16 a 20 anos. Quatro deles trabalham menos de 10 horas-aula por semana, três de 21 a 30 e um de 31 a 40. Todos lecionavam para as 3 séries do Ensino Médio. Quatro professores utilizavam livro didático e quatro utilizavam apostilas. Quatro afirmaram realizar atividades experimentais. Dentre os professores, apenas sete iriam lecionar em 2006.

Em relação ao curso, além dos dados que estão em anexo, temos também outros dados que foram registrados para futuras análises, mas que não serão objetos de atenção nesse trabalho. Segue abaixo a relação deles:

- Levantamento inicial de palavras relacionadas à equação $E=mc^2$ e organização em blocos dessas palavras
 - Dúvidas iniciais, coletadas no levantamento inicial
 - Síntese dos conhecimentos estabelecidos na primeira etapa
 - Síntese das dúvidas da primeira etapa
 - Comentário e sugestões realizados, individualmente, pelos professores que participaram do curso
 - Questionário de avaliação final enviado aos professores que não compareceram na 2ª etapa do curso
 - Avaliação final do curso realizada pelos professores que estavam presentes na 2ª etapa do curso
 - Atividades em desenvolvimento pelos professores na 2ª etapa do curso
- $E=mc^2$

- Dados de atividades que os professores aplicaram, em sala de aula, aos seus alunos
- Questionários de avaliação final dos professores que não compareceram na 2ª etapa do curso
- A avaliação final do grupo que elaborou e aplicou curso
- Nossa reflexão sobre o curso

4.2 - Intervenção Energia Nuclear: propostas para a sala de aula

4.2.1- Caracterização e justificativa

Foi necessário, como explicaremos no capítulo seguinte, delimitar um novo tema para essa segunda intervenção. Nosso primeiro desafio foi eleger um assunto essencial, dentre todos os assuntos que foram abordados na primeira intervenção.

Optamos por tratar especificamente sobre a questão da Energia Nuclear, pelo destaque assumido na etapa anterior. Em primeiro lugar, por uma “vocação” propriamente científica e, de certo modo, histórica, desse tema dentro da FMC. Do ponto de vista da física, essa relação é direta, pelo fato de ocorrerem, no núcleo atômico, transformações de massa e energia “quantificáveis”. Esses são casos em que se pode verificar que, a partir de uma pequena quantidade de massa, é possível se obter enormes quantidades de energia, como nos processos de fissão e fusão nucleares.

É freqüente, inclusive, a associação direta entre a equação $E=mc^2$ e a bomba atômica, como se uma decorresse da outra. Do ponto de vista histórico, entretanto, entre esses fatos, a publicação da equação por Albert Einstein, em 1905 e as primeiras bombas atômicas, decorreram-se cerca de trinta anos. De fato, a bomba é uma “prova” de sua

validade, assim como mais tarde vieram a ser o uso da energia nuclear para produção de eletricidade, entre outras aplicações.

Em segundo lugar, essa escolha foi feita também pelo seu potencial para discutir um tema atual, que ocupa grande destaque na mídia, uma vez que o uso da energia nuclear, especialmente para geração de energia elétrica, está na pauta dos grandes debates do momento, no Brasil e no mundo, envolvendo aspectos científicos, tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais. Aspectos esses que pudemos explorar em atividades, identificando alguns “usos e desusos” da energia nuclear em diferentes setores sociais como saúde, indústria, agricultura, segurança e armamentos, geração elétrica, etc.

Assim, por se tratar de um tema atual, presente na mídia, em alguns aspectos polêmico e controverso, a sua inserção na escola traz novos conhecimentos de Física, hoje em dia praticamente ausentes dos programas curriculares, que possibilitam aos alunos lidar com essas informações veiculadas, capacitando-os para compreender, questionar e posicionar-se nesse debate.

Realizamos essa segunda intervenção no curso de educação continuada **Energia Nuclear: propostas para a sala de aula**, o qual foi preparado²³ ao longo do 1º semestre de 2007. Este curso de extensão universitária fez parte de um projeto da Comissão de Cultura e Extensão do Instituto de Física da USP (CCEx-IF)²⁴, que realizou, junto com o ProFis²⁵, cursos e atividades regulares para professores de Física do EM. O curso foi realizado em julho de 2007, em paralelo com outros três cursos de atualização com temas

²³ Este curso foi preparado e oferecido por um grupo, do qual a autora dessa dissertação faz parte, formado pelas alunas do programa de Pós Graduação Interunidades em Ensino de Ciências-modalidade Física Ligia Valente de Sá Garcia e Marcília Elis Barcellos e pela Profª Sônia Salem, foi coordenado pela Profª Dra. Maria Regina D. Kawamura, que desenvolveu em conjunto do grupo a proposta.

²⁴ Comissão de Cultura e Extensão do IFUSP: <<http://www.if.usp.br/cultext/index.shtml>>

²⁵ Espaço de Apoio, Pesquisa e Cooperação de Professores de Física <<http://www.if.usp.br/profis>>

e abordagens diversificados, que procuravam responder às demandas atuais da escola básica. Pretendia-se, através desses cursos, não apenas propiciar a atualização de conhecimentos, como também a troca de experiências entre as vivências e práticas dos professores de ensino médio, assim como sua interação com docentes universitários.

O curso foi desenvolvido com carga horária total de 30 horas-aula, tendo como público alvo professores de Física do EM e visando apresentar e construir, junto com eles, possibilidades de (re)organização do tratamento sobre o tema Energia Nuclear e, sobretudo, abordagens e atividades para a sala de aula do Ensino Médio.

Do mesmo modo que a primeira intervenção, o curso foi realizado em duas etapas. A primeira etapa, com duração total de 24 horas-aula, ocorreu nos dias 16, 17 e 18/07/2007, sendo 18 horas-aula destinadas ao curso que oferecemos e outras 6 horas às atividades comuns ao conjunto dos cursos oferecidos naquela semana. A segunda etapa, com duração total de 6 horas-aula, foi realizada em dois sábados, ao longo do 2º semestre de 2007, nos dias 29/09 e 09/11, e exigiu uma participação ativa e criativa dos professores, pelo fato de ter sido centrada basicamente na elaboração e aplicação de atividades, voltadas diretamente para a sala de aula, que fossem adequadas à realidade dos professores que participavam do curso, levando em consideração os diferentes aspectos e condições de cada escola, turma de alunos ou professor.

Além da identificação da presença da energia nuclear em noticiários de jornais e nas referências cotidianas, abordamos também o debate entre riscos e benefícios envolvidos em alguns dos usos da Energia Nuclear. É fato que o uso da Energia Nuclear, para diferentes finalidades, há muitos anos vem sendo tratado e discutido no mundo todo. Nesse âmbito, pudemos debater questões como: *A energia nuclear é “maléfica” ou “benéfica”? Do que depende? No que se refere ao seu uso para geração de energia elétrica, ou seja, às usinas nucleares, quais são as questões envolvidas? Por que esse debate é polêmico? Qual a situação do Brasil? O nosso país precisa desse tipo de*

energia? O que dizer a respeito do atual debate sobre a construção de Angra 3? Como situar o uso da energia nuclear na perspectiva armamentista?

4.2.2- Estrutura do curso

Apresentamos uma proposta na qual sugerimos possibilidades de organização e tratamento do tema Física Nuclear que se propõe a contemplar os aspectos científicos, conceituais, cotidianos, tecnológico, sociais e históricos, de acordo com os objetivos que explicitamos inicialmente.

Um diferencial significativo dessa organização, por exemplo, em relação aos livros didáticos, é o “ponto de partida”. Em nossa proposta, partimos de problematizações, desafios e debates relacionados ao tema, envolvendo os aspectos tecnológicos e sociais do mundo contemporâneo, para então tratar dos aspectos científicos necessários para a compreensão das questões levantadas.

Os aspectos que abordamos surgiram das questões identificadas como relevantes no contexto atual e envolvem, por exemplo, o uso de energia nuclear para geração de energia elétrica, seus possíveis usos bélicos, as contribuições tecnológicas dela decorrentes, assim como seus riscos e benefícios. De uma maneira geral, não diferem daqueles já apontados, no capítulo 2, nos livros didáticos. Apenas que, em nossa proposta, são as questões centrais a serem compreendidas.

Como o universo das questões a serem trabalhadas é muito amplo, não seria possível nem recomendável, contudo, estabelecer uma proposta fechada e definitiva de tratamento ou organização do tema no EM. A estrutura que apresentamos tem o objetivo, apenas, de ilustrar a estratégia de seleção sugerida, com a intenção de superar as limitações das seleções adotadas tradicionalmente nos livros didáticos.

A Tabela 4.2 representa a organização de nossa proposta em forma de uma matriz que apresenta, nas colunas, os três eixos já mencionados como aspectos considerados relevantes no ensino e, nas linhas, os diferentes tópicos da Física Nuclear. A estrutura sob forma de matriz procura explicitar um aspecto que é essencial em construções dessa natureza e que diz respeito às articulações internas a serem buscadas entre os diferentes aspectos. Assim, os tópicos tratados nas abordagens de aspectos cotidianos, tecnológicos e sociais (B) ou históricos, sociais e culturais (C) devem ser subsidiados pelos científicos conceituais (A). Ou seja, trata-se de uma proposta de seleção e organização de conteúdos que visa propiciar essa articulação.

	A	B	C
	<u>Aspectos científicos conceituais</u>	<u>Aspectos cotidianos tecnológicos e sociais</u>	<u>Aspectos históricos, sociais e culturais</u>
1	O que é EN? O modelo atômico, o núcleo e sua estabilidade. Energia liberada (radiação nuclear) em busca da estabilidade	Onde está presente a EN? (Como se detecta?)	Questões atuais – levantamento e problematização. Perguntas.
2	Por que é emitida? Curva Z x N Radioatividade, decaimentos e transformações	Como aproveitar? (Utilizações “locais”) Na medicina, na agricultura, na indústria, etc.	Descoberta por acaso? Os impactos sociais dessas tecnologias.
3	De onde vem? $\Delta E = \Delta mc^2$ Fissão e Fusão Energia de ligação	Como aproveitar? (Utilização “concentrada”) Usinas e Bombas	Uso bélico e política Bombas, corrida armamentista e poder Usinas e desenvolvimento
4	Quanto e com que interage? Atividade, meia vida, etc. Detectores	Faz bem? Faz mal? Efeitos biológicos e ambientais Riscos e Benefícios	Questões atuais: aspectos políticos e econômicos Enriquecimento do U, Irã, países com bombas, etc. Debate e síntese: Usinas nucleares – vale a pena?

Tabela 4.2: Proposta de matriz para organização da Física Nuclear

Para ilustrar uma das formas de articulação interna de nossa organização, exemplificamos um dos possíveis percursos, o 1B – 1A – 2A – 2B, no qual “percorremos” quatro “células” da Tabela 4.2 articulando esses assuntos.

O ponto de partida de nosso percurso constitui a primeira atividade da proposta, denominada: *Onde há Energia Nuclear?* (1B), na qual os alunos recebem uma série de palavras que fazem parte do “cotidiano” e do mundo em que vivemos, como: Urânio, aparelho de raios x, sol, cigarro, usina nuclear, bomba atômica, Nagasaki, câncer etc e devem classificá-las em três blocos: “Sim, Não e Depende”, utilizando o seguinte critério: Esse objeto tem energia nuclear disponível? Assim, a partir dessa atividade geram-se questões que demandam conceitos de modelo atômico, núcleo e instabilidade (1A). E ainda com esse objetivo, construímos a curva Z x N (2A), para explorar as aplicações da energia nuclear em diferentes setores da sociedade (2B). Desse modo, as atividades são realizadas por meio de diferentes “percursos” da Tabela 4.2.

Da mesma forma como observado anteriormente, essa proposta não se configura como um roteiro a ser seguido. A matriz tem a função principal de organizar os temas e enfoques, de forma articulada, permitindo explicitar os objetivos desejados em cada atividade.

4.2.3- Atividades desenvolvidas

Passamos a descrever, de forma sucinta, o que foi realizado na primeira etapa do curso. A Tabela 4.3 abaixo apresenta o programa dessa etapa.

	DIA 16/07/07	DIA 17/07/07	DIA 18/07/07
8h30 às 10h30	Atividades conjuntas	Energia nuclear: “Usos pontuais e grandes liberações de energia”	Problematização: polêmica do uso da Energia Nuclear “Usos e abusos”
10h45 às 12h45	Apresentação e problematização inicial Ativ. 1B: “Onde há energia nuclear?” (sistematização)	Ativ. 3B: “Quebra-cabeça” de uma usina nuclear (discussão)	Ativ. 5B: “Troca de perguntas” sobre problemas decorrentes do uso da Energia Nuclear (Discussão)
14h00 às 16h00	Problematização: “emissão” de energia nuclear? Ativ. 2B: Construção do gráfico $N \times Z$ (Discussão)	Ativ. 4B: Cálculo da energia liberada na fissão (Energia de ligação)	Ativ. 6B: Energia nuclear na sala de aula (sistematização)
16h15 às 18h15	Atividades conjuntas	Atividades conjuntas	Energia Nuclear na sala de aula: Avaliação e propostas

Tabela 4.3: Programa da primeira etapa do curso Energia Nuclear: propostas para a sala de aula

No primeiro dia do curso realizamos uma apresentação, situamos a proposta do curso, justificamos a escolha do tema Energia Nuclear e discutimos sobre a possibilidade da FMC, em especial da Energia Nuclear, ser levada para a sala de aula do Ensino Médio. Distribuímos aos professores algumas manchetes e trechos de notícias de jornais e/ou revistas sobre o tema e discutimos a questão da importância de estarmos atualizados para compreendermos os debates em torno da questão. Enfocamos aspectos como: *Onde há energia nuclear no mundo, no cotidiano e na mídia? Quais os temas ou questões que aparecem? Quais os conhecimentos físicos básicos envolvidos?* Em seguida, realizamos uma rápida sistematização desse levantamento inicial.

Propusemos, na sequência, a Atividade 1B: *Onde há Energia Nuclear?* Essa atividade²⁶ foi desenvolvida para alunos do EM, visando um primeiro contato com o tema

²⁶ Essa atividade encontra-se no anexo: Atividade 1B: Onde há Energia Nuclear?

Energia Nuclear, considerando o que eles já sabem sobre o assunto. Seu intuito é identificar “onde a energia nuclear está presente em nosso mundo”, ou seja, onde está disponível para uso (ou “desuso”) humano.

Para realizar essa primeira atividade, os professores, organizados em grupos, receberam uma série de palavras: equipamentos, aparelhos, processos, conceitos, nomes, procedimentos, fenômenos etc e deveriam classificá-las, em três blocos: sim, não ou talvez/depende/não sei, utilizando o seguinte critério: *Esse objeto “tem” energia nuclear disponível?*

Em seguida discutimos os critérios que cada grupo utilizou em sua classificação, identificando o que havia em comum, ou não, em cada caso. E realizamos uma breve apresentação, sobre o tema Energia Nuclear, na qual tratamos basicamente de colocar uma nova questão: *“De onde vem” a energia nuclear?* Propusemos, então, uma outra atividade, que visava discutir por que alguns materiais emitem energia nuclear enquanto outros, não. Para isso desenvolvemos a Atividade 2B²⁷, que visava a construção do gráfico Z x N para alguns elementos. Em seguida, discutimos a questão da instabilidade dos núcleos e a radioatividade natural.

No segundo dia, retomamos os dados da Atividade 1B para observar as características das palavras que foram classificadas como *“tendo energia nuclear”*. Primeiramente, separamos os elementos químicos: Carbono-14, Plutônio, Cobalto-60, Césio-137, Urânio-238, Urânio-235, Rádio, tório e Bismuto, pois já tinham sido objeto de discussão na atividade anterior. Em seguida, classificamos as aplicações nucleares em dois grupos: situações que envolvem usos pontuais, localizados ou em “pequenas doses” de radiação, como a Radioterapia, Radiofármacos, Gamagrafia, Traçadores Radioativos e

²⁷ Essa atividade encontra-se no anexo: Atividade 2B: Gráfico Z x N.

Datação. E, em outro grupo, situações que envolvem grandes liberações de energia, como o reator nuclear, Bomba de Hidrogênio e Bomba Atômica.

Problematizamos com os professores a questão: *O que diferenciava as emissões de radiação provindas dos elementos naturais das grandes liberações de energia?* Utilizamos essa questão como uma forma de introduzir a reação em cadeia e a fissão.

Para discutir como seria possível utilizar essa energia nuclear para produzir, por exemplo, energia elétrica, realizamos a Atividade 3B²⁸: "Quebra-cabeça" de uma usina nuclear. Nessa atividade, os professores, em dupla, montaram "a sua" usina nuclear, a partir dos constituintes da usina que lhes foram fornecidos, recortados sob forma de elementos independentes. Deveriam organizá-los de maneira que a usina cumprisse sua finalidade de transformar energia nuclear em energia elétrica. A idéia dessa atividade é analisar as propostas, avaliar a adequação das diferentes "montagens" e discutir como seria o funcionamento (ou não) do reator em cada caso, os possíveis problemas e as correspondentes soluções.

Desenvolvemos, em seguida, a Atividade 4B²⁹, na qual os professores calcularam a energia liberada, em uma reação de fissão do Urânio. A idéia principal dessa atividade não era o cálculo em si, mas a comparação da ordem de grandeza com outras fontes de energia, por exemplo, o carvão. Inserimos a equação $E=mc^2$, no cálculo a energia de ligação do núcleo de um átomo, discutindo conceitualmente essa questão.

No terceiro dia apresentamos algumas das aplicações da Energia Nuclear e discutimos *"O porquê da polêmica?"*. Colocamos a questão: *Se a energia nuclear pode ser aproveitada e aplicada de muitas formas trazendo benefícios na geração de energia elétrica nas usinas, além de benefícios em vários setores sociais, como na medicina, indústria, agricultura, meio ambiente... Onde está o problema? Por que seu uso é*

²⁸ Essa atividade encontra-se no anexo: Atividade 3B: "Quebra-cabeça" de uma usina nuclear.

²⁹ Essa atividade encontra-se no anexo: Atividade 4B: Calculando a energia liberada na fissão.

polêmico? Para levantar os problemas decorrentes do uso da energia nuclear, realizamos a Atividade 5B³⁰, que envolvia uma troca de perguntas entre os professores.

Em seguida apresentamos uma aula, sobre os acidentes radioativos e os acidentes em usinas nucleares, radiações ionizantes, contaminação radioativa, lixo atômico e tempo de meia vida. Realizamos a Atividade 6B³¹, na qual os professores elaboraram um breve roteiro sugerindo como tratar a Energia Nuclear na sala de aula do EM. Delimitamos, a princípio, um total 8 horas-aula e pedimos que os professores elaborassem um roteiro contendo os tópicos e de que maneira eles seriam abordados, o provável número de horas disponibilizadas para cada atividade, além de justificar suas escolhas, ou seja, a maneira pela qual decidiram trabalhar.

Concluimos essa primeira etapa do curso com uma conversa sobre o que pretendíamos realizar na segunda etapa. Os professores se comprometeram a refazer esse breve roteiro, transformando-o em uma proposta didática, e aplicar em suas aulas alguma atividade que visasse à inserção do tema Energia Nuclear.

No primeiro encontro da segunda etapa do curso, realizamos uma conversa inicial com os professores, na qual eles relataram suas tentativas de introduzir o tema proposto em suas turmas de Ensino Médio, e nos entregaram a versão final da proposta didática que eles começaram a desenvolver ao longo da primeira etapa do curso. Centramos esse primeiro encontro na discussão sobre o acidente nuclear de Goiânia, ocorrido em setembro de 1987, já que tratava-se de assunto atual, presente na mídia nesse momento do curso, por estar completando 20 anos. Apresentamos dois filmes, relacionados ao acidente, e levamos para a aula uma “pastilha” de Césio 137 e um contador Geiger, que emprestamos do laboratório de Física Moderna. Alguns dos professores ficaram

³⁰ Essa atividade encontra-se no anexo: Atividade 5B: “Trocando” perguntas sobre problemas decorrentes do uso de energia nuclear.

³¹ Essa atividade encontra-se no anexo: Atividade 6B: Energia nuclear na sala de aula.

deslumbrados por nunca terem “tipo contato” com esse tipo de aparelho. Explicamos o funcionamento do aparelho.

Apresentamos uma aula sobre grandezas e unidades físicas da radiação e outros conceitos relacionados e realizamos uma atividade em que era solicitado o cálculo da atividade, da amostra de cloreto de Césio 137 (CsCl) de 19,26g, liberada no acidente de Goiânia.

No segundo sábado, iniciamos nosso encontro com o relato dos professores sobre as atividades desenvolvidas por eles em sala de aula ou programadas. E diferente das outras intervenções, nos surpreendemos com o engajamento dos professores, que pode talvez indicar que a opção de centrar o curso em atividades “surtiu” algum efeito. No entanto, não podemos deixar de esclarecer que esse grupo de professores era diferenciado e interessado, e essa etapa se estendeu mais que o esperado.

Em seguida pedimos aos professores, individualmente, que elaborassem um “mapa” (tipo organograma) apresentando a visão de conjunto do tema energia nuclear tratado no curso. O “mapa” podia conter conceitos, fenômenos, teoria, estratégias, abordagens... Optamos por deixar esta atividade “aberta” para que pudéssemos ter como resultado o que de fato eles imaginassem como aspectos essenciais no curso. Em seguida, realizamos uma discussão, em grupo, dos mapas apresentados, comparando-os e cada professor defendeu seu ponto de vista.

Para finalizar, distribuímos aos professores dois capítulos, de dois livros distintos tradicionais de EM, sobre Física Nuclear e pedimos que eles avaliassem, em duplas, seu potencial de uso na sala de aula para desenvolver o tema. *Quais eram os aspectos positivos? Quais as limitações? O que falta?* E, como última avaliação, pedimos que eles escrevessem uma frase³², sobre o aspecto mais marcante ao longo do curso.

³² Essas frases encontram-se no anexo: Frases elaboradas pelos professores que sintetizam o curso *Energia Nuclear: Propostas para a sala de aula*.

4.2.4- Acompanhamento e avaliação

No ato da inscrição tivemos 12 professores inscritos, mas apenas 6 compareceram, no primeiro dia de curso e preencheram a ficha. Todos os participantes eram do sexo masculino, residiam na cidade de São Paulo e tinham nível de escolaridade superior completo, sendo quatro bacharéis e ou licenciados em física, um engenheiro e um que estava cursando licenciatura em Física no IFUSP. Todos os professores lecionavam para o Ensino Médio na cidade de São Paulo, quatro deles em escolas públicas e dois em escolas privadas. Apenas dois professores estavam estudando naquele ano e seis já haviam participado de cursos de aperfeiçoamento ou atualização.

Como descrito no item anterior, ainda que não inseridos na íntegra em anexo, temos uma série de materiais para a análise:

- Dados sobre as seis atividades aplicadas no decorrer do curso
- Avaliação individual realizada no final da primeira etapa do curso
- Mapas elaborados na segunda etapa
- Roteiros e propostas didáticas elaborados pelos professores, para inserção do tema em sala de aula do Ensino Médio
- Dois vídeos, nos quais, dois dos professores que participaram do curso utilizaram para tratar do tema Energia Nuclear, em sala de aula.
- Dados das atividades aplicadas pelos professores em suas salas de aulas

Dessa maneira não realizamos nesse trabalho, como explicitamos também em relação à primeira intervenção, uma avaliação detalhada dessas atividades a partir do material produzido pelos professores, a não ser no capítulo seguinte, no qual ilustraremos

alguns desses dados, obtidos ao longo do curso, de maneira informativa. Optamos, no presente trabalho, por desenvolver uma reflexão mais geral, que visa analisar o processo de seleção e organização das intervenções que realizamos e contrapor com outras propostas de inserção da FMC no EM, assim como com os livros didáticos voltados a este nível de ensino.

CAPÍTULO 5

Análises das intervenções

No capítulo anterior caracterizamos as duas intervenções que desenvolvemos, justificando cada proposta, descrevendo as atividades desenvolvidas e a natureza dos dados e registros propiciados. O objetivo deste capítulo é mais amplo do que os anteriores. Pretendemos investigar, dentro da diversidade de possibilidades, as características e potencialidades próprias dessas intervenções que construímos, frente às discussões que apresentamos nos capítulos iniciais.

Assim, nesse capítulo discutiremos a maneira pela qual foi realizada a seleção de conteúdos e a organização curricular nas duas propostas que apresentamos no capítulo quatro. Para isso, pretendemos melhor identificar as opções por nós realizadas, comparando-as com a maneira pela qual a FMC está sendo inserida nos livros didáticos, (como apresentamos no capítulo dois) e também com as propostas de inserção da FMC na área de Ensino de Física (abordadas no capítulo três), contemplando elementos da Ciência, Tecnologia e Sociedade (apresentados no capítulo um).

A análise por nós realizada identificou três níveis de discussão. Inicialmente, trata-se de contrapor a seleção e organização de conteúdos que desenvolvemos, com aquela predominante nos livros didáticos e muitas das propostas, permitindo explicitar as

consequências de não considerar como única referência o “saber sábio”. Além disso, na ausência dessa referência, pretendemos discutir quais os novos critérios que as substituem. E, finalmente, na medida em que conteúdo e estratégia são aspectos indissociáveis, pretendemos aprofundar essa relação.

Apresentaremos algumas conclusões obtidas em nossa reflexão, tentando buscar evidências nas próprias propostas que formulamos. Além disso, ilustraremos os pontos que estamos defendendo com comentários dos professores que participaram das duas intervenções, obtidos nas avaliações aplicadas ao longo das intervenções, como citamos no capítulo anterior.

Assim, analisamos, inicialmente, como os livros didáticos de Física de Ensino Médio realizam a seleção de conteúdo e temas da FMC, como apresentamos no Capítulo 2, na perspectiva de identificar procedimentos implícitos na construção do “saber a ser ensinado”, tal como se apresenta aos professores através dessas obras e também nas dissertações da área apresentadas no Capítulo 3. E contrapomos com a seleção que realizamos em nossas propostas.

O segundo ponto discutido está relacionado à perspectiva CTS, buscamos a presença/ausência de elementos de ciência, tecnologia e aspectos sociais tanto nos livros didáticos, como nas propostas analisadas no Capítulo 3.

E o terceiro ponto aborda as estratégias diferenciadas de nossas propostas para levar o conteúdo de FMC às salas de aula do EM, também discutimos seu processo de elaboração e o porquê da mudança do tema e da estrutura da primeira intervenção em relação à segunda.

5.1 – Seleção de conteúdos e temas

Para discutir os recortes a serem realizados, em termos da seleção de conteúdos e temas, consideramos linhas de pesquisa que têm foco na seleção e organização curricular. Para isso, utilizamos como referência alguns autores que reconhecem a necessidade dessa seleção, como Chevallard (1998) e García (1998), ainda que esses autores assumam pontos de vista diferentes, quanto à natureza e critérios a serem adotados nesse processo.

Um dos referenciais teóricos mais utilizados, na discussão da inserção de FMC no EM, é a Transposição Didática (TD), na qual Chevallard (1998) propõe uma reflexão sobre as formas pelas quais o sistema escolar se posiciona em relação ao saber. Acreditamos que o principal mérito da teoria da Transposição Didática é a diferenciação que se faz do conhecimento produzido nas comunidades acadêmicas e consolidado como ciência, daquele que tem o intuito de ser apreendido nas escolas. Chevallard (1998) considera, de certa forma, que existe uma criação didática que tem uma epistemologia própria, vinculada a um objetivo e a um processo próprio.

Para Chevallard (1998) é necessária uma Transposição Didática que permita adequar o conhecimento da ciência à sua prática didática em sala de aula. Nesse processo, ele reconhece três âmbitos distintos, que incluem: o “saber sábio”, ou seja, o saber da ciência e dos cientistas, o “saber a ensinar”, ou seja, o âmbito em que deve ocorrer uma seleção e adequação do conteúdo científico ao espaço escolar e o “saber ensinado”, que identifica o conhecimento a ser desenvolvido em sala de aula. Enquanto o “saber a ser ensinado” é, em geral, definido pelos livros didáticos, o saber efetivamente ensinado depende, de forma essencial, da construção, das escolhas e das práticas propostas pelos professores.

Segundo a teoria de Chevallard (1998), a criação didática parte do saber acadêmico (“saber sábio”). Assim o processo de criação didática se inicia na escolha dos saberes a serem ensinados, pela seleção dos elementos do “saber sábio”, que designados como “saber a ensinar”, serão submetidos à Transposição Didática. Para Chevallard (1998) o saber passa pelos seguintes processos:

- nascimento na comunidade acadêmica, assumindo modalidades e funções diferentes;
- exposição e difusão;
- reprodução e reconstrução social – produção didática, na qual as exigências não são as mesmas da produção acadêmica;

Além disso, fica claro na obra de Chevallard (1998) que o que comumente chamamos de renovação curricular está ligada à instauração de uma nova corrente do saber proveniente do “saber sábio”. Segundo ele um “saber sábio”, com o passar do tempo, e de acordo com o entorno social, entra em obsolescência e envelhece. Isso compromete aos poucos o projeto de ensino vinculado a ele e exige a modificação dos conteúdos de ensino.

García (1998) também reconhece que o conhecimento escolar tem uma identidade própria. Ele, no entanto, vai mais longe, propondo que esse conhecimento tenha até mesmo uma epistemologia própria, assumindo um caráter diferente daquele do conhecimento científico. No entanto, para esse autor, os critérios de seleção estão menos vinculados aos conhecimentos tais como estruturados pela ciência dos cientistas, e mais correlacionados com os conhecimentos cotidianos dos alunos, os quais ele propõe enriquecer.

García (1998, p.25) faz referência a três hipóteses sobre a construção do conhecimento escolar, se posicionando contra elas. A primeira hipótese enfatiza uma certa compatibilidade (compartilhamento) entre o saber do aluno e o saber da ciência; A segunda, diz respeito à possibilidade de substituição das idéias do senso comum do aluno pelo conhecimento científico, enquanto que, em sua terceira hipótese, analisa a possibilidade de independência-coexistência desses saberes.

Entendemos que a hipótese da continuidade considera o conhecimento cotidiano e o conhecimento científico epistemologicamente similares, sendo possível passar de uma forma a outra sem necessidade de grandes modificações. Essa maneira de interpretar é similar ao “jeito clássico” de como algumas teorias da educação encaram a construção do conhecimento científico, na qual consideram que o aluno tem uma certa experiência do cotidiano e o conhecimento científico tem que ser levado, para o cotidiano, ou seja, uma passagem natural da experiência que o aluno possui e construindo um conhecimento científico (escolar) que ele não possuía antes.

Já a hipótese de substituição está relacionada às concepções espontâneas, na qual não existe necessariamente uma compatibilidade entre o conhecimento do aluno e o conhecimento científico. Nesse sentido, é preciso provocar ruptura entre o senso comum e o conhecimento científico, ou seja, não se trata de uma transformação nem fácil nem “natural”. Nessa segunda hipótese, García (1998) considera que o conhecimento cotidiano e o científico são incompatíveis, de maneira que a escola teria como função substituir as idéias intuitivas dos alunos pelas idéias científicas.

Além dessas, considera uma terceira hipótese, pela qual pode ser proposta uma independência-coexistência desses dois saberes. Assim, a função da escola seria a de apresentar o conhecimento científico. No entanto, na medida em que a epistemologia do conhecimento científico e do cotidiano é diferente, esses conhecimentos passariam a ser

aplicados a contextos diferentes, fazendo com que o aluno lance mão de seu conhecimento de senso comum ou do conhecimento escolar, segundo o contexto e a demanda.

Entendemos que essas três hipóteses consideram o “saber sábio” como referência, ou seja, tomam como referência o conhecimento científico. As diferenças entre essas hipóteses se referem apenas com os posicionamentos colocados em relação ao conhecimento que os alunos possuem e ao conhecimento científico, considerando ou como uma passagem natural, ou substituindo ou coexistindo em contextos diferentes. Podemos perceber alguma relação, em oposição às idéias de Chevallard (1998), nos fragmentos abaixo³³ que trazem como idéia de base que o conhecimento escolar não pode ser a ‘redução’ ou a ‘simplificação’ de uma disciplina científica.

O conceito de transposição centra suas atenções nas adaptações do saber que passa do contexto científico ao contexto escolar, que supõe uma visão ‘intelectualista’, afastada/distanciada da manipulação dos entes concretos, uma visão acrítica da crença de um conhecimento científico a priori legítimo e legitimador, e uma visão inadequada para muitas disciplinas escolares que não se correspondem com um determinado saber científico. (MARTINAND, 1994, *apud* GARCÍA, 1998, p.21)

E nesse mesmo sentido, Martín del Pozo (1994) assinala que:

O produto da transposição didática é parcial enquanto se privilegia, como prática social de referência, a investigação científica, desviando outras possíveis fontes de informação, como os tecnológicos ou os sócio-ambientais. A mesma autora explica que teria que realizar um processo de sucessivas transposições didáticas, para poder elaborar o conhecimento escolar a partir dessas variedades de fontes. (POZO, 1994, *apud* GARCÍA, 1998, p.21)

Segundo García (1998) o conhecimento escolar é influenciado pelos conhecimentos científico e cotidiano, esse autor defende a hipótese da Integração, na

³³ Tradução da autora da dissertação.

qual o conhecimento escolar é determinado pela integração transformadora desses dois conhecimentos. Para ele, a escola pode transformar, de modo a enriquecer, o conhecimento cotidiano, entendendo essa transformação como uma “evolução” de formas do pensamento cotidiano simples para outras mais complexas.

Watanabe (2008, p.18) também reconhece que, para García (1998), o conhecimento escolar surge da interação entre os conhecimentos científico e cotidiano, não sendo viável colocá-los no mesmo patamar, já que a escola tem sua própria dinâmica e problemas específicos. Assim, o conhecimento cotidiano deve ser enriquecido a partir das concepções científicas, sendo que sua complexificação exige a transição de uma forma simples a outra mais complexa. Para o autor, o conhecimento escolar é aquele:

... que integra, no âmbito didático, diferentes formas de conhecimento (filosófico, ideológico, científico-técnico, cotidiano). [...] que insiste na necessidade de adotar uma determinada visão de mundo, que articule e oriente a integração, no conhecimento escolar, dos problemas sócio-ambientais, do conhecimento científico e das concepções presentes nos alunos. (GARCÍA, 1998, p.137)

5.1.1- Nos livros didáticos do EM

Como mostramos no Capítulo 2 os livros didáticos tomam como referência o “saber sábio” como ponto de partida. A maneira pela qual os livros didáticos inserem a FMC pode ser discutida a luz das idéias da Transposição didática, de Chevallard (1998).

Em todos os livros didáticos analisados no Capítulo 2 (item 2.3.1) verificamos que a relação $E=mc^2$ foi inserida, no capítulo que aborda a teoria da relatividade, ou seja, o “assunto” $E=mc^2$ não foi escolhido como um tema, por si próprio. Na seleção de conteúdos realizada pelos livros a Teoria da Relatividade que foi selecionada, pela novidade que ela traz para a Física, tanto pela ciência como na visão de mundo, e

também incentivada pela figura do Einstein, a qual também todos os livros fazem referência. A relação $E=mc^2$ foi inserida, em uma seqüência muito semelhante à do livro de referência, ou seja, os livros de Ensino Médio, ao realizarem a seleção de conteúdos tomam como referência o “saber sábio”, como uma forma de fazer a transposição didática. E dessa forma, a preocupação dos autores ao abordar a equação está voltada mais à idéia da variação de massa, sendo que na maioria dos casos ela aparece logo após a definição de massa relativística.

Os capítulos que abordam a FMC não diferem dos capítulos que eles trazem a Física Clássica. Percebemos que inserir a FMC, que é um corpo de conhecimento diferenciado da Física Clássica, seguindo o mesmo padrão como é realizado pelos livros, com a parte teórica, aplicações de relações matemáticas e propostas de exercícios baseados no que foi abordado na parte teórica, não é satisfatório.

Os dados que obtivemos no Capítulo 2 sinalizam que, na grande maioria dos livros de Ensino Médio, foi realizada uma transposição do “saber de referência”, representado em manuais didáticos do Ensino Superior, tratando apenas de fazer simplificações do mesmo. Quer em termos da seleção dos conteúdos, quer em termos de abordagem, profundidade e extensão e também em relação às seqüências utilizadas para introduzir a FMC ou à ênfase nos exercícios e aplicações numéricas. Portanto temos um forte indicativo que os livros didáticos de Ensino Médio reproduzem ou transpõem conteúdos e abordagens simplificadas dos livros-textos de Ensino Superior.

É necessário ressaltar que um livro didático de Ensino Médio, ao inserir um tema de Física Moderna, deveria ter objetivos muito diferentes de um livro de Ensino Superior. Nesse sentido, as propostas de Transposição Didática que buscam no “saber sábio” a principal referência dos conhecimentos que serão transpostos ao “saber a ser ensinado” são discutíveis e merecem maiores reflexões. Uma vez que tratam-se de conhecimentos

com objetivos distintos, a mera transposição, ainda que com simplificações, de alguns saberes do Ensino Superior não atende às expectativas de se ensinar FMC no EM.

A Transposição Didática aponta que o “saber sábio” tem que ser a referência, no entanto, sabemos que na maioria das salas de aula do EM a FMC não está inserida, e as propostas nos livros didáticos, já estão no mercado há mais de uma década. Ou seja, o problema não é a falta de propostas que visam à inserção da FMC, elas existem, mas algo está dificultando essa inserção de fato. Podemos inferir que a maneira pela qual a FMC está sendo sugerida nessas propostas talvez esteja dificultando sua inserção nas salas de aula.

As propostas que elaboramos apresentam uma alternativa de seleção e organização desse tema, com critérios de seleção mais próximos àqueles propostos por García (1998) e igualmente contemplando os aspectos científico, tecnológicos e sociais, que representam os objetivos educacionais desejados. Em nossas propostas não tomamos como referência o “saber sábio”, mas procuramos realizar uma seleção dos conteúdos da FMC que estão presentes no cotidiano dos alunos, visando uma educação para a cidadania.

Ao elaborarmos nossa proposta partimos da equação $E=mc^2$ pelo seu valor simbólico, pelo papel dela na física e também pelo fato da equação ter um caráter interessante aos alunos de EM. A novidade que é explícita nessa relação e ao mesmo tempo integra e articula outros aspectos da FMC. Essa é uma das especificidades de nossa proposta, o fato selecionarmos um tema, a equação $E=mc^2$, que tem um aspecto integrador de diferentes perspectivas da FMC, e não um determinado corpo de conteúdo da FMC, ou seja, do “saber sábio”.

Dessa forma, não optamos por abordar a Relatividade e, em consequência, os conteúdos relacionados à ela, como a equação $E=mc^2$. Mesmo porquê, se esse tivesse

sido o percurso realizado, não iríamos chegar, por exemplo, à curva da instabilidade e aos aspectos da formação do núcleo que se referem à Física Nuclear. Nós só inserimos esse e os outros aspectos como mostrados no mapa de referência do capítulo anterior (item 4.1.2) por estarmos movidos pelo $E=mc^2$ e não pela Relatividade.

Além disso, todos os livros didáticos, com exceção de Amaldi (1995), como mostramos no item (2.3.1) inserem a equação $E=mc^2$ no capítulo sobre Relatividade seguindo uma mesma seqüência de pré-requisitos para depois inserir de fato a equação, o que não é realizado em nossa proposta.

Estamos defendendo que a nossa alternativa explicita, mais claramente, as implicações em outros campos da Física. Nós discutimos aspectos conceituais e aplicações, mas os fenômenos nos quais ela “aparece” era um fator importante para nós e foi em consequência disso que resolvemos abordar também a Física Nuclear, em seus usos e desusos, e a cosmologia. Na elaboração de nossa proposta recorremos a vários tipos de materiais como textos originais, reconstruções ou análises históricas da construção da relação $E=mc^2$ e seus impasses.

Chevallard (1998) defende a idéia que um ensino, antes de ser bom, deve ser possível. Assim um saber “ensinável” deve:

- ser desincretizado - delimitação de saberes parciais que se expressam num discurso ficticiamente autônomo;
- ser despersonalizado;
- ter uma programabilidade para ser adquirido - ter o texto de saber como uma norma de progressão do conhecimento;
- ter uma boa publicidade - consequência da objetivação obtida pela proposta em textos do saber;

· ter um certo controle social dos aprendizes - em virtude de uma certa concepção do que é saber, legitimada pela textualização.

No que diz respeito à seleção do tema $E=mc^2$ em nossa proposta, podemos contrapor nosso Mapa de referência, em relação à delimitação desse tema enquanto um “saber a ser ensinado”, à luz de algumas das idéias de Chevallard (1998) citadas acima. Num primeiro momento nossa proposta se apresenta com abrangência, a mais geral possível, explora a figura de Einstein e o contexto no qual “suruiu” a expressão $E=mc^2$, com discussões históricas e sociais, apresentando as novidades, no sentido conceitual, que a relação traz para a Física, e não a Relatividade no foco como a novidade. Assim nosso “saber a ensinar” não se apresenta despersonalizado.

A programabilidade da nossa proposta foi deixada a cargo dos professores, para que cada um pudesse adequar as sugestões de temas e propostas à sua realidade. Nosso tema geral se refere a um saber, que não constitui em si um “saber sábio”, mas se trata de uma das expressões mais famosas e populares da Física. Isso dá à proposta uma boa publicidade e objetivação.

Na elaboração do curso, quando recorremos ao “saber sábio” encontramos uma discordância dos especialistas da área em relação a alguns significados de conceitos básicos. Isso pode ser explicado pela teoria da Transposição Didática que admite que muitos saberes são aprendidos sem serem ensinados de forma explícita. Assim na tentativa de explicitar ou definir saberes diretamente ligados ao conceito de massa ou energia, a literatura dos especialistas (portanto o “saber sábio”) diverge.

Nesse caso não nos deparamos com um “saber sábio” delimitado e único. Na primeira etapa do curso optamos por problematizar esses conceitos, abrindo um leque de possibilidades para vários saberes igualmente sábios. Ao fim não houve uma escolha em certa concepção de saber legitimada pelo texto. Essa opção está ligada aos nossos

objetivos durante o curso onde tivemos o intento de transmitir uma visão menos ingênua de ciência, que acreditamos ser direito ao aluno de EM.

Dessa forma, a maneira pela qual selecionamos os conteúdos, em nossas propostas, difere da opção que os livros realizaram. Nós não tomamos como referência o “saber sábio”, nós problematizamos, ou melhor, nós complexificamos uma relação que eles já tinham, nós exploramos a equação $E=mc^2$, enriquecendo o significado da equação, dentro do contexto que eles estavam acostumados a vê-la, conforme defende García (1998). Tanto é que nós não abordamos a Teoria da relatividade, da maneira que ela é abordada nos livros de referência do Ensino Superior, nós optamos por inserir com essa relação de outra maneira, trazendo mais conteúdos e conceitos que fazem parte do “corpo de conhecimento” da Física Nuclear e da Cosmologia.

Acreditamos que tomamos como referência um conhecimento que não é o “saber sábio”, nós utilizamos o aspecto científico da relação, mas ele não foi o ponto de partida para realizar nosso critério de seleção. Acreditamos que os livros didáticos do EM não fazem dessa forma, mesmo quando retomam a equação $E=mc^2$ em capítulos posteriores, por exemplo, ao abordar a Física Nuclear ele já compartimentalizou. Ou seja, isso é realizado pontualmente, em capítulos diferentes, sem dialogar com o que havia sido abordado no capítulo de Relatividade.

Em relação à abordagem da Física Nuclear realizada pelos os livros didáticos, percebemos também algumas diferenças marcantes. A equação $E=mc^2$ foi abordada em todos os livros que inserem a FMC, o que não ocorre com a Física Nuclear, que não está presente em alguns livros como mostramos no Capítulo 2 (item 2.3.2) ou é abordada com muita superficialidade, consideramos que esse foi um recorte que os livros analisados optaram por fazer, pois sabemos que a Física Nuclear também é um saber de referência.

Os livros, nos capítulos que abordam a Física Nuclear, iniciam a partir da abordagem histórica, sempre citando a “descoberta” da radioatividade e seguem com as relações da desintegração, meia-vida, atividade, mas as questões conceituais relacionadas como, por exemplo, o motivo pelo qual certos átomos (núcleos) emitem a radiação, são tratados em pouquíssimos livros, sendo que a grande maioria dá preferência aos aspectos operacionais, como as fórmulas de tempo de meia vida, atividade, entre outras, em detrimento aos aspectos conceituais de fato.

E nossa proposta é diferenciada, pois quando optamos por iniciar a discussão com a questão *“Onde tem energia nuclear?”*, tínhamos o intuito que os alunos tentassem distinguir a diferença entre a energia nuclear e os outros tipos de energia que eles têm mais contato em seu dia a dia, como, por exemplo, diferentes tipos de energia eletromagnética. O que, novamente, está mais de acordo, com a visão defendida por García (1998), pois partimos de um conhecimento que os alunos possuem e trazemos os elementos científicos para mostrar onde está, ou não, essa diferença, ou seja, os aspectos conceituais vêm em decorrência dessa necessidade, para mostrar porque um determinado núcleo está emitindo energia, de onde está vindo essa radiação e como ela pode ser liberada. Assim, nossas duas propostas dialogam mais com as idéias, de integração-enriquecimento do conhecimento cotidiano, defendidas por García (1998, p.25).

Verificamos, portanto, que a grande maioria dos livros didáticos de Ensino Médio realiza um tratamento da FMC tal como os demais conteúdos da “Física Clássica”, ou seja, essencialmente formal, abstrato e com fins no conhecimento de física em si próprio. E, dada a breve extensão com que os temas são discutidos, são privilegiados os aspectos informativos e não uma discussão conceitual propriamente dita. Conclui-se disso que os livros didáticos, ao inserirem desse modo a FMC, estão “somando” novos conteúdos aos

já existentes sem, contudo, responder às demandas da área de ensino de Física ou abordar aspectos que consideramos essenciais para a construção de um conhecimento significativo.

5.1.2- Nas propostas da área de Ensino de Física

No que concerne à FMC no EM, as pesquisas em ensino de Física têm apontado, como mostramos no Capítulo 3, a necessidade de uma renovação dos conteúdos de ensino, sugerindo como alternativa à renovação curricular a inserção da FMC. Assim já existe certa gama de propostas como as levantadas na primeira parte deste trabalho.

Dentro da FMC é preciso escolher quais saberes constituem os temas que podem ser sujeitos à Transposição Didática (TD) para chegarem à sala de aula. As propostas apresentadas seguem pela vertente dos ramos do conhecimento consolidados pelo saber acadêmico como a Relatividade, a Física Quântica ou a Física de partículas, como mostramos no Capítulo 3. Acreditamos que este seja um diferencial da nossa primeira proposta, pois como já dissemos no item anterior, nosso tema central $E=mc^2$ é um recorte que, em nossa hipótese, não constitui por si só um “saber sábio”. A proposta da reflexão em torno do tema $E=mc^2$ permite dessa maneira que mergulhemos, por exemplo, na Física Nuclear, na Cosmologia e na Relatividade, porém, a equação em si não delimita a que corpo do conhecimento nos reportamos e, portanto, não parte de um “saber sábio”.

E em relação às propostas da área de ensino de Física apresentadas no Capítulo 3, realizamos uma análise de três dissertações com maior detalhamento: Rodrigues (2001), Brockington (2005) e Souza (2005), confrontando com as escolhas que fizemos em nossas duas propostas.

Em relação à maneira pela qual os autores realizaram a seleção dos conteúdos da FMC a serem trabalhados, percebemos que Rodrigues (2001, p.134) ao elaborar sua

proposta parte de aspectos conceituais, abordando em cada módulo *"um pilar fundamental da Relatividade"*, que estão na dimensão dos aspectos científicos. Sua proposta está separada em três módulos, um para cada ano do Ensino Médio, para o 1º ano seleciona como assunto as concepções de espaço e tempo relativísticas, para o 2º ano as questões relativas ao éter e campo e no 3º ano as simetrias das leis físicas.

Brockington (2005), da mesma maneira que nós, tem a preocupação de caráter didático de não tornar sua proposta demasiadamente técnica ou apresentar os aspectos científicos de maneira apenas informativa. No entanto, da mesma maneira que Rodrigues (2001), Brockington (2005), ao elaborar sua proposta, parte de aspectos conceituais da própria ciência, espectroscopia e dualidade onda-partícula e modelos para estruturá-la. Brockington (2005, p.162) não aborda os aspectos sociais e culturais em sua dissertação, justificando que eles "não se enquadram no que determinamos como marcadores principais", ou seja, os conhecimentos científicos.

Na organização curricular de Souza (2005, p.205) os *"tópicos programáticos"* estão organizados em quatro "planos" com objetivos distintos. O 1º e 2º plano contemplam os aspectos científicos, o 3º plano os aspectos tecnológicos e o 4º plano os aspectos sociais e históricos. No entanto, apesar do autor ter selecionado o tema poluição nuclear, em sua proposta de inserção de FMC no EM, percebemos que ele não realizou uma seleção de conteúdos em sua organização curricular. Como verificamos, no item 3.3.3, estão presentes muitos conceitos físicos a serem tratados e o mesmo acontece em relação aos aspectos tecnológicos e sociais.

Percebemos também que os três trabalhos discordam da maneira como a FMC está sendo inserida nos livros didáticos. Por exemplo, Brockington (2005, p.153) na elaboração de sua proposta, afirma que decidiu *"abandonar a seqüência tradicionalmente encontrada nos livros didáticos"*. Rodrigues (2001) também não concorda com a maneira

de inserir a FMC apenas como um “apêndice”, como é sugerido pelos livros didáticos, apenas no final do 3º ano do EM, mas sugere em sua proposta que a FMC seja inserida ao longo do EM.

Rodrigues (2001) faz, em sua proposta, uma transposição dos “*pilares da Relatividade*”, tomando como referência o “saber sábio”, da mesma maneira que os livros didáticos, no entanto tem o objetivo de introduzir os aspectos históricos e sociais. Da mesma forma Brockington (2005), ao definir os “*marcadores principais*” toma como referência o “saber sábio” como o conteúdo a ser ensinado que é o conteúdo da FMC. Brockington (2005), inclusive valida a Transposição Didática de Chevallard.

Cada proposta representa uma forma de transposição didática, com suas especificidades, no entanto o que queremos em nossa proposta é enriquecer o conhecimento dos alunos e, portanto, levamos em consideração em nossa seleção de conteúdos que queremos ensinar.

5.2 – Articulação Ciência-Tecnologia-Sociedade

Diante do quadro anterior, na medida em que nos posicionamos de forma crítica em relação àquela seleção de conteúdos, que toma como critério primeiro o conhecimento científico, nossa questão passa a ser qual critério de seleção então adotar.

Dentre as justificativas apontadas no Capítulo 1, vimos que a inserção da FMC no EM deve responder a três aspectos. O primeiro relacionado aos aspectos científicos que privilegiam aspectos internos à ciência, enfatizando uma nova visão da física enquanto ciência, resultante das idéias introduzidas pela Física Moderna. O segundo relacionado aos aspectos de caráter tecnológico, com a justificativa que os conceitos da Física Moderna são essenciais para a compreensão de grande parte da tecnologia atual. E o terceiro às implicações sociais desses novos conhecimentos, defendendo sua importância

para a formação ampla do cidadão contemporâneo, para lidar de forma crítica, compreender e atuar na sociedade.

Strieder (2008) traz um panorama do surgimento histórico dos estudos em CTS, aborda, também, o CTS no contexto educacional brasileiro e as intervenções pautadas por abordagens CTS. Strieder (2008, p.30) reconhece que vêm sendo elaboradas, desenvolvidas e avaliadas diversas propostas de intervenção curricular (cursos, práticas de sala de aula) que possuem como referência os pressupostos do “movimento CTS”, contemplando diferentes objetivos. Concordamos com essa diversidade presente no movimento CTS e acreditamos que ele possui um aspecto mais crítico, voltado à cidadania.

Auler (1998) também reconhece que essas implementações de propostas CTS não apresentam um consenso quanto aos objetivos, conteúdos, abrangências e modalidades. Há um amplo espectro de possibilidades, desde aquelas que contemplam interações CTS apenas como fator de motivação, até aquelas que, no outro extremo, acabam tornando secundário o ensino de conhecimentos científicos, postulando como fator essencial a compreensão dessas interações.

Portanto temos várias classificações das propostas de ensino que vêm sendo denominadas como CTS. Strieder (2008), em uma revisão bibliográfica envolvendo outros autores que abordam essa questão, identifica três modalidades de implementação:

- (i) Projetos através de "Enxertos CTS": Consistem em desenvolver o conhecimento científico sem que ocorram alterações no currículo tradicional, havendo acréscimos, com maior ou menor intensidade, de temas CTS.
- (ii) Projetos através de um enfoque CTS: A ciência é desenvolvida através de um enfoque CTS. Os conteúdos científicos são estruturados segundo coordenadas CTS.
- (iii) Programas CTS puros: Nesses, o conhecimento científico desempenha um papel secundário. Em alguns casos o conteúdo

científico é incluído para enriquecer a explicação dos conteúdos CTS, em outros as referências aos temas científicos ou tecnológicos são mencionados, mas não explicados. (STRIEDER, 2008, p.30)

Destacamos também no Capítulo 1, que Santos (2001) reconhece essas três ênfases, identificando propostas que privilegiam a natureza e a evolução das idéias da ciência (Cts); que dão maior ênfase aos aspectos tecnológicos (cTs) e que destacam os aspectos e impactos sociais (ctS).

Aikenhead (1994) *apud* Santos e Mortimer (2002, p.15) também classificou intervenções principalmente em função da "proporção entre os conteúdos de CTS e o conteúdo puro de Ciências", definindo oito categorias diferentes, ilustradas na Tabela³⁴

5.1.

Categorias	Descrição
1. Conteúdo de CTS como elemento de motivação.	Ensino tradicional de ciências acrescido da menção ao conteúdo de CTS com a função de tornar as aulas mais interessantes.
2. Incorporação eventual do conteúdo de CTS ao conteúdo programático.	Ensino tradicional de ciências acrescido de pequenos estudos de conteúdo de CTS incorporados como apêndices aos tópicos de ciências. O conteúdo de CTS não é resultado do uso de temas unificadores.
3. Incorporação sistemática do conteúdo de CTS ao conteúdo programático.	Ensino tradicional de ciências acrescido de uma série de pequenos estudos de conteúdo de CTS integrados aos tópicos de ciências, com a função de explorar sistematicamente o conteúdo de CTS. Esses conteúdos formam temas unificadores.
4. Disciplina científica (Química, Física e Biologia) por meio de conteúdo de CTS.	Os temas de CTS são utilizados para organizar o conteúdo de ciências e a sua seqüência, mas a seleção do conteúdo científico ainda é feita a partir de uma disciplina. A lista dos tópicos científicos puros é muito semelhante àquela da categoria 3, embora a seqüência possa ser bem diferente.
5. Ciências por meio do conteúdo de CTS	CTS organiza o conteúdo e sua seqüência. O conteúdo de ciências é multidisciplinar, sendo ditado pelo conteúdo de CTS. A lista de tópicos científicos puros assemelha-se à listagem de tópicos importantes a partir de uma variedade de cursos de ensino tradicional de ciências.
6. Ciências com conteúdo de CTS.	O conteúdo de CTS é o foco do ensino. O conteúdo relevante de ciências enriquece a aprendizagem.
7. Incorporação das ciências ao conteúdo de CTS.	O conteúdo de CTS é o foco do currículo. O conteúdo relevante de ciências é mencionado, mas não é ensinado sistematicamente. Pode ser dada ênfase aos princípios gerais da ciência.
8. Conteúdo de CTS.	Estudo de uma questão tecnológica ou social importante. O conteúdo de ciências é mencionado somente para indicar uma vinculação com as ciências.

Tabela 5.1: Categorias de ensino de CTS (AIKENHEAD, 1994 *apud* SANTOS e MORTIMER, 2002, p.15)

³⁴ Reproduzimos o quadro original na Tabela 5.1, na qual excluímos a terceira coluna que exemplificava cada uma das categorias.

Para situar nossas considerações sobre CTS é importante sinalizar que não estamos propondo nenhuma dessas modalidades. Embora reconheçamos o valor de todas elas, ao identificar como objetivos os elementos da tríade ciência, tecnologia e sociedade, não estamos necessariamente assumindo uma das muitas vertentes do CTS enquanto movimento social.

Inserimos a Tabela 5.1 para ilustrar o fato de nossa proposta não se encaixar em nenhuma das categorias CTS identificadas por Aikenhead (1994). Por exemplo, em nossa proposta não inserimos o conteúdo CTS para tornar as aulas mais interessantes (Categoria 1), nem como apêndice (Categoria 2). Não selecionamos o conteúdo e a sequência por meio do CTS (Categoria 5), escolhemos, por exemplo, em nossa 2ª intervenção abordar a Física Nuclear. O conteúdo CTS não é o foco do ensino nem do currículo (Categoria 6 e 7) e os aspectos científicos (conteúdos) não ficam em segundo plano (Categoria 8).

Podemos perceber, portanto, que o movimento CTS, envolve muitas interpretações, sentidos e perspectivas de abordagens diferenciadas. Nós optamos, simplesmente, por contemplar em nossas propostas os três elementos da tríade CTS, pois os consideramos importantes e reconhecemos sua necessidade.

Nesse sentido, ao tomarmos como referência os elementos da tríade CTS, nossa proposta também não se “encaixa” nas categorias identificadas por Santos (2001), pois não optamos por privilegiar apenas um dos três elementos. Portanto, não estamos realizando uma “abordagem CTS” específica, tal como identificada pelos vários autores citados acima. Embora compartilhem os objetivos de uma educação crítica, voltada para a construção da cidadania, não pretendemos privilegiar especificamente um desses aspectos.

Defendemos a importância da presença desses três elementos da tríade CTS, contemplando a ciência, a possibilidade da educação tecnológica e os impactos e usos sociais, de maneira articulada entre si, e foi isso que orientou nossa seleção de conteúdos. E de certa forma, a relação entre aspectos científicos, tecnológicos e sociais, passam, portanto, a ser nosso critério para a seleção de conteúdos e a organização do conhecimento.

5.2.1- CTS nos livros didáticos

As seleções de conteúdo realizadas nos livros didáticos analisados e as opções sobre o “saber a ser ensinado”, privilegiam aspectos internos do conhecimento científico. E o tipo de abordagem predominante não enfatiza sequer elementos relativos à natureza da ciência, ou seja, às “novidades” que os conhecimentos de FMC evidenciam, em termos de concepções, visões de mundo ou formas de investigação, restringindo-se aos conteúdos propriamente ditos. Há, portanto, uma ênfase no conteúdo de física envolvido, com poucas discussões envolvendo, de fato, aspectos cotidianos, tecnológicos, sociais, históricos e culturais, mais pertinentes aos objetivos desejados.

Nos livros didáticos os aspectos tecnológicos, históricos ou sociais são inseridos pontualmente, como decorrência dos aspectos conceituais, ou seja, como “ilustração” ou exemplo de aplicação dos conteúdos científicos. Nessa sequência, pode-se perceber que “as questões do mundo contemporâneo” e suas diferentes dimensões, constituem um “apêndice” da física.

Percebemos que, ao tomar como referência o conhecimento científico (ou, o “saber sábio”), os livros inserem os elementos CTS em decorrência dessa opção, como uma exemplificação ou aplicação dos aspectos científicos. Alguns dos livros analisados no Capítulo 2 incluem exemplos relacionados aos aparatos tecnológicos presentes no

cotidiano dos alunos. Porém, não é realizada uma discussão a respeito, pois esses exemplos são inseridos, após o desenvolvimento do conteúdo, geralmente no final do capítulo ou seção, ou em forma de *box* de aprofundamento com a finalidade de demonstrar as aplicações dos mesmos. Não há uma articulação entre os exemplos e o texto principal, fazendo com que esses exemplos assumam um caráter apenas ilustrativo.

Da mesma maneira, as questões sociais e históricas são apresentadas em textos complementares aos capítulos que abordam a FMC, denominados, por exemplo, “a história conta”, “*imersão na história*”, “*a vida do cientista*”. Ou na introdução do capítulo precedendo os aspectos conceituais e também em *box* de aprofundamento ao longo do capítulo. E essa abordagem dos aspectos tecnológicos e sociais não difere, nos livros didáticos, dos capítulos que tratam a Física Clássica.

Em nossas propostas, abordamos os aspectos que visam à sociedade e a tecnologia junto com o conhecimento científico, articulando, dessa forma, de uma maneira diferente esses três aspectos. O nosso objetivo, por exemplo, ao inserir a Física Nuclear, é mais profundo. Não queremos simplesmente que o aluno aprenda a Física Nuclear, mas sim a Física Nuclear no mundo, contemplando os aspectos sociais e tecnológicos, em paralelo com os científicos de uma maneira articulada, como um corpo de conhecimento organizado.

Assim, apontamos a necessidade de uma revisão dos critérios de seleção dos conteúdos a serem ensinados, propondo tomar como referência elementos da perspectiva CTS. Os aspectos tecnológicos e sociais, mais próximos do cotidiano dos alunos, passam a ser o ponto de partida para a aquisição e aprofundamento de conceitos científicos.

Nossa opção de partir da tríade CTS para realizar a seleção e organização dos conteúdos, correlaciona de maneira diferenciada os aspectos científicos, tecnológicos e sociais. Em nossa matriz de conteúdos da Física Nuclear apresentada na Tabela 4.2,

podemos “circular” entre as células, percorrendo as colunas C, T e S, além das linhas, acoplando assim o conhecimento científico sempre com a tecnologia e a sociedade. Não existe um sentido único a ser seguido, ou seja, não é necessário partir do conhecimento científico para inserir uma aplicação tecnológica ou uma implicação social, podemos realizar um caminho inverso, deixando de maneira mais explícita a articulação entre os três diferentes aspectos.

Por exemplo, quando problematizamos o tema “Energia Nuclear”, partimos do conhecimento e da “vivência” dos alunos em relação a esse assunto, e contemplamos os aspectos sociais, tecnológicos, culturais para articulá-los, em seguida, aos aspectos científicos e conceituais. Dessa maneira, consideremos que o ensino de Física ganha um espaço mais significativo.

Acreditamos que uma organização (ou reorganização) de conteúdos que vise à inserção da FMC no EM requer mais que somar ou “transpor” novos conceitos e teorias da Física, mas de rearticulá-los, considerando não apenas a física contemporânea, mas o mundo contemporâneo. Possibilitando, com esses novos conhecimentos, uma compreensão, participação e atuação crítica dos alunos de ensino médio em nosso mundo.

Nesse sentido, uma estruturação de propostas de organização curricular, sob forma de matriz temática, permite explicitar melhor as ênfases desejadas. Propostas dessa natureza enfatizam as articulações a serem buscadas, entre o conhecimento científico e o contexto do aluno, transformando os conteúdos da Física, em específico da FMC, em instrumentos para compreensão do mundo e não como objetivos em si mesmos que apenas visam uma utilização futura.

5.2.2- CTS nas propostas da área de Ensino de Física

Em relação à presença dos aspectos CTS e à maneira pela qual esses aspectos são contemplados nas três dissertações analisadas: Rodrigues (2001), Brockington (2005) e Souza (2005), destacamos:

Rodrigues (2001), da mesma maneira que nós, parte de problematizações para inserir os aspectos científicos, mas utiliza apenas aspectos históricos não articulando com aspectos tecnológicos. Isso se deve ao fato do tema escolhido, Relatividade, ter um caráter mais abstrato e distante do cotidiano do aluno.

Percebemos em nossa análise que Rodrigues (2001) insere a FMC, em específico o assunto Relatividade, contemplando os objetivos educacionais que privilegiam questões da própria ciência. O foco principal do trabalho de Brockington (2005) está na discussão das implicações filosóficas, epistemológicas e ontológicas, geradas pelas interpretações da dualidade onda-partícula, assim como na justificativa do posicionamento do autor. Portanto, da mesma maneira que Rodrigues (2001), sua proposta contempla os objetivos educacionais que privilegiam questões da própria ciência.

Percebemos na proposta de Rodrigues (2001) que os aspectos científicos estão presentes, em grande parte, durante as etapas dos módulos, junto com aspectos pontuais históricos, sociais ou culturais. Existe uma relação entre esses aspectos, nos módulos sugeridos pelo autor, mas o aspecto tecnológico não foi contemplado.

Podemos verificar que a proposta de Souza (2005), da mesma maneira que a nossa, contempla os aspectos científicos, tecnológicos e sociais. No entanto sua proposta não articula esses aspectos, separando-os em três blocos distintos, inicialmente são abordados os aspectos científicos, depois os tecnológicos e por fim os sociais e culturais. E apesar de Souza (2005) ressaltar que a ordem dos planos não implica na

obrigatoriedade de um seqüenciamento linear dos tópicos, ele não explicita a articulação interna entre os planos sugeridos.

As justificativas de Souza (2005) para a escolha do tema *"poluição nuclear"* estão de acordo com nossas expectativas ao desenvolver nossa proposta centrada na questão da Energia Nuclear e também utiliza uma abordagem CTS para a inserção da educação ambiental no EM que possibilite *"contemplar uma concepção de meio ambiente globalizante"*.

Portanto, a maneira pela qual articulamos os elementos da tríade CTS, em nossa proposta, difere do que encontramos na análise dos livros didáticos e tem alguns pontos comuns com as três propostas apresentadas nas dissertações analisadas no Capítulo 3.

5.3 – Estratégias

Como explicitamos nos itens anteriores, os livros didáticos e algumas propostas ao selecionar os conteúdos da FMC, visando sua inserção no EM, utilizam como referência o "saber sábio" e realizam uma Transposição Didática (Chevallard,1998). No entanto, na organização e seleção de conteúdos que realizamos contemplamos os elementos da tríade CTS e não utilizamos o "saber sábio" como referência.

Procuraremos investigar, então, em que aspectos as estratégias adotadas na elaboração dos cursos encontram ressonância com as duas dimensões que defendemos, nos itens 5.1 e 5.2, pelo fato de terem sido elaboradas ao longo do mesmo processo. Temos, portanto, que discutir esse terceiro elemento, pois em nosso critério de seleção e organização dos conteúdos levamos em consideração também as estratégias.

Assim, analisaremos como as estratégias foram desenvolvidas em nossas propostas, para atingir os objetivos inicialmente explicitados. Esse terceiro aspecto será

contemplado na discussão do processo de elaboração de nossas propostas, do $E=mc^2$ à Física Nuclear. E também em relação à estrutura do curso e à natureza das atividades desenvolvidas, que sofreram modificações na segunda intervenção.

5.3.1- Processo de elaboração dos cursos

O processo de elaboração da primeira intervenção, $E=mc^2$: Propostas para a sala de aula, ocorreu ao longo de um semestre, em reuniões semanais com um grupo, citado no Capítulo 4, que incluía alunos da graduação e da pós-graduação e docentes. Selecionamos inúmeros materiais relacionados à equação $E=mc^2$, desde textos originais até artigos de divulgação científica. E discutíamos os textos com o intuito de elaborar um curso de atualização, visando à inserção da FMC, para professores de Física do Ensino Médio que, ainda que de forma implícita, contemplava aspectos da ciência, tecnologia e sociedade. Organizamos o curso através de problematizações, atividades de discussões, questionamentos etc.

Esse curso foi dividido em duas etapas, na primeira etapa apresentamos a equação e suas articulações focando no conhecimento do professor. Com o intuito que os professores, na segunda etapa do curso que ocorreu aos sábados, elaborassem atividades novas para a sala de aula e aplicassem nas escolas que estavam atuando.

No entanto da teoria à prática, encontramos muitas dificuldades, especialmente porque, na elaboração do curso, usamos nossa intuição, sem experiências anteriores ou referenciais explícitos. Parece-nos que acertamos na escolha do tema, a equação $E=mc^2$, em parte pelos motivos explicitados na descrição da proposta (Capítulo 4), como sua abrangência ou seu potencial inovador de trabalhar, nesse aspecto, nossa "intuição" de certo modo se confirmou. Porém, ao mesmo tempo, exatamente pela sua abrangência e

novidade, ou seja, pela grande diversidade de possibilidades e novos caminhos, decorreu certo tempo para que pudéssemos amadurecer a estrutura do curso e transformássemos tantas idéias em uma proposta concreta.

Um dos resultados mais marcantes foi a percepção de que os professores não conseguiram, individualmente, elaborar propostas de atividades, ou seja, houve uma desarticulação entre o “aprender” e o “ser capaz” de produzir.

Esperávamos que, ao longo da 1ª etapa do curso, tivéssemos disponibilizado elementos suficientes para que eles elaborassem novas atividades e trouxessem propostas e até mesmo alguns resultados delas, já que tinham passado mais de dois meses entre a finalização da 1ª etapa e o primeiro encontro da 2ª etapa. Mas não foi isso que aconteceu, os professores não trouxeram as atividades, como havíamos previsto. Percebemos que eles não tinham adquirido, ainda, a autonomia necessária para desenvolver as atividades ou o conhecimento de estratégias que contemplassem atividades de fato.

O curso deveria estar voltado para o professor aprender, ou seja, poderíamos ter assumido mais esse papel de dialogar com o professor, não apenas com o enfoque dele construir sua proposta ou atividade, mas de aplicarmos com eles algumas propostas de atividade, para que eles aprendessem como isso poderia ser feito e então aplicar aos seus alunos do Ensino Médio, ou mesmo, formular a partir disso outras possíveis atividades.

Percebemos que quando se trata de inserir um novo conteúdo, ainda mais de uma maneira diferenciada, que os professores não estão acostumados a trabalhar em seu dia a dia no Ensino Médio, essa etapa se torna indispensável. Conseguimos suprir uma pouco dessa necessidade na 2ª etapa do curso, mas tivemos apenas 5 professores que retornaram nos 3 encontros.

Depois de finalizada essa primeira intervenção refletimos sobre a maneira pela qual ela foi realizada. Perguntamos-nos e se fossemos elaborar uma próxima intervenção, ou mesmo dar esse curso novamente, o que mudaríamos ou de que maneira ele deveria ser feito para minimizar os "erros" que cometemos e maximizar os elementos que funcionaram nessa primeira intervenção.

Percebemos inicialmente que se esse curso fosse dado novamente seria necessário mudar o formato. Em relação à primeira etapa do curso, mesmo não sendo o que pretendíamos fazer, acabamos enfatizamos a discussão conceitual, o que talvez tenha "desestruturado os alicerces" ou as expectativas dos professores, de maneira que a primeira etapa do curso estava distante do Ensino Médio e do "aluno de verdade", sem um foco no trabalho em sala de aula do professor. E, além disso, senão o principal fator motivador, foi a percepção, após essa experiência, que a questão fundamental é entender como estruturar e propor conteúdos de Física Moderna e Contemporânea.

Além disso, concluímos que seria essencial disponibilizarmos mais tempo para ouvir e discutir as atividades aplicadas pelos professores em suas escolas, ou seja, é essencial estar mais "próximo" deles para o entender o contexto no qual trabalham e suas expectativas em relação à inserção dessa nova proposta. Isso tornaria nossa discussão mais "rica", além de ser indispensável para nós esse "feedback" mais detalhado, para uma futura intervenção.

Foi necessário, portanto, delimitar o tema do próximo curso e, nosso primeiro desafio foi eleger um assunto essencial, dentre todos os assuntos que foram abordados na primeira intervenção *$E=mc^2$: Propostas para a sala de aula*. Optamos por tratar especificamente sobre a questão da Energia Nuclear, a qual foi selecionada com destaque, como justificamos no Capítulo 4.

5.3.2- Natureza das atividades

Adotamos a estratégia de centrar a 2ª intervenção, em atividades relacionadas ao assunto a ser tratado, pois percebemos, a partir da primeira experiência, que os professores se sentem mais seguros para elaborar e aplicar atividades diferenciadas depois de participar, como alunos, das atividades propostas por nós. Para perceberem essa “nova” dinâmica de trabalho os professores precisam vivenciar esse processo de forma intensa, participando “como alunos”, pois dessa forma eles desenvolvem autonomia para propor novas atividades.

Portanto, percebemos a necessidade de sugerir atividades, que não se configuram como propostas fechadas ou “receitas”, ou seja, não é para os professores repetirem a mesma atividade com seus alunos. Nós damos um encaminhamento amplo com o intuito que os professores entendam a motivação, o porquê daquela atividade, relacionando com a estrutura do curso, em forma de matriz, e dessa forma redimensionem e adaptem as atividades para o contexto de sua sala de aula.

Acreditamos também, que o primeiro tratamento de um tema deveria identificar e considerar o que os alunos já sabem sobre o assunto, já leram ou ouviram falar, seja em noticiários de televisão ou jornais, em filmes e documentários, em trocas de conversas ou até mesmo, em alguns casos, na própria escola.

Explicaremos a lógica interna que está presente na maneira pela qual as atividades foram estão estruturadas. Por exemplo, iniciamos a intervenção *Física Nuclear: Propostas para a sala de aula*, com uma atividade de levantamento, na qual eles puderam trazer o conhecimento que tinham a respeito da questão. O objetivo desta primeira atividade era identificar e reconhecer como a Física Nuclear está presente no cotidiano e posteriormente abordar os aspectos científicos, tecnológicos e sociais contemplados por esse corpo de conhecimento.

Assim a seqüência das atividades, no decorrer do curso, não foi aleatória. Primeiro pensávamos qual era o nosso objetivo, ou seja, o que considerávamos essencial, para que um aluno consiga compreender a Física Nuclear e que deveria ser abordado primeiro. Assim, após a primeira atividade, percebemos que a instabilidade era uma questão importante, é necessário entender por que alguns núcleos emitem espontaneamente radiação e outros não. Portanto propomos a atividade da construção da curva de instabilidade e analisamos o porquê da questão.

Acreditamos a atividade é uma forma de encaminhar o aprendizado de um dado conhecimento a partir da necessidade de compreender algo. Quando a gente elaborava uma atividade, que era motivada pela compreensão de um determinado aspecto, percebíamos que precisávamos de outra atividade para encaminhar a questão, assim, cada atividade, quando aprofundada, leva a uma nova questão a ser respondida e, portanto essa questão conduzia à atividade seguinte. De forma que a atividade é uma questão a ser respondida, uma motivação para a aprendizagem. Portanto podemos dizer que nossa estratégia também fez parte do critério de seleção, ou seja, acaba sendo uma forma de selecionar e organizar os conteúdos. E, além disso, não escolhemos os elementos CTS para depois elaborar determinada atividade com o intuito de contemplá-los.

Dessa forma, ao elaborar a estrutura da segunda intervenção, centrando nas atividades, percebemos que os professores conseguiram, de fato, propor atividades e levar a FMC para a sala de aula.

5.3.3- Alguns resultados

Não pretendemos, como explicitamos no capítulo anterior, realizar uma análise dos materiais produzidos pelos alunos a partir dos resultados obtidos. Optamos por desenvolver uma reflexão mais geral, que visa analisar o processo de seleção e organização das intervenções que realizamos. Entendemos a proposição e a organização das intervenções como um produto de nosso trabalho, dessa forma a possibilidade de organização dos conteúdos é um de nossos resultados.

Iremos exemplificar, com alguns dados obtidos nas atividades aplicadas, a compreensão dos professores em relação à forma que apresentamos os temas, à estrutura dos cursos e às estratégias, evidenciando a autonomia que eles adquiriram para elaborar atividades, em especial na segunda intervenção, na qual tivemos um retorno maior.

Ao final da 2ª etapa da primeira intervenção, realizamos uma avaliação com os cinco professores presentes e eles destacaram a questão da estratégia diversificada que desenvolvemos em nossa proposta. Inserimos algumas frases retiradas dessa avaliação, para exemplificar alguns pontos levantados por eles.

Os professores³⁵ sentem necessidade de participar de cursos de atualização e concordam com a importância da inserção da FMC no EM, no entanto destacaram alguns fatores que dificultam esse processo:

Acredito ser de suma importância introduzir a Física Moderna no ensino médio. Não obstante, a carga horária de Física na rede pública de ensino ser relativamente pequena (P5)

³⁵ Omitimos os nomes dos professores, que serão referidos por: P1 (Professor 1), e assim sucessivamente.

O grande problema certamente foi quando e como ensinar Física Moderna, uma vez que dispomos de poucas aulas semanais e um vasto conteúdo a ensinar. (P1)

Os professores de ensino médio realmente são carentes de cursos como este uma vez que, em sala de aula, quanto mais conhecimentos possuímos, melhor podemos ensinar. (P3)

Um aspecto que se destacou foi a percepção dos elementos tecnológicos e sociais que inserimos articulados aos científicos:

Acho viável a discussão sobre o tema que está a cada dia se tornando muito divulgado. Embora a mídia coloque o tema mais com viés político. É um tema bastante excitante em todos os aspectos. Utilizando filmes, noticiários e material impresso, é possível desenvolver discussões e instigar os alunos a despertar, para um foco que afeta a vida de todo mundo. (P5)

Sabemos que a sociedade atual requer pessoas com conhecimento bastante diversificado e bastante sólido. [...] por ser um tema (presente) na mídia, é uma forma de relacioná-lo com o cotidiano. (P1)

E as diferenças do nosso curso em relação às estratégias propostas, por exemplo, nos livros didáticos.

Mas talvez o aspecto mais importante não seja exatamente o conteúdo em si, mas a forma com que os professores foram incentivados a ensinar os alunos: usando coisas do cotidiano, que o aprendizado da Física possa ser significativo, que possa contribuir para ele (aluno) interagir melhor no ambiente em que vive. (P1)

Mesmo que a maioria dos livros didáticos só tratem do tema no final do 3º ano do ensino médio, penso que se pode abrir o tema a partir do 2º ano. (P5)

Acreditamos que o curso foi satisfatório, pois, conseguimos atingir uma dos objetivos iniciais de nossa proposta, ou seja, alguns professores levaram a FMC para sala de aula, e perceberam a maneira diferenciada pela qual nosso curso foi estruturado:

Pretendo inserir esse assunto no plano de ensino do próximo ano, mesmo sabendo que vou ter muitas dificuldades (P4)

O bom é que no curso conseguiram dar alternativas diferenciadas como solução. Os temas abordados e a metodologia aplicada no curso foram atuais (P2)

O tema do curso contribui bastante com o aprendizado, assim como as demais atividades e metodologias. É, sem dúvida, uma forma inovadora de fazer com que o aluno se aproprie do conhecimento que lhe trará muitos benefícios, principalmente em torná-lo um cidadão globalizado. (P1)

Em relação à segunda intervenção, já mencionamos que os professores se apropriaram de maneira mais significativa de nossa proposta, inserindo a FMC, de fato, nas suas salas de aula e também documentaram como foi realizada essa inserção (por meio de vídeos, fotos e material escrito), como enfatizamos no Capítulo 4. Vamos exemplificar esse fato, com alguns dados obtidos nas diversas atividades que aplicamos, visando extrair a compreensão que eles tiveram do processo do curso, das estratégias que adotamos e de algumas atividades.

Selecionamos alguns comentários dos professores, obtidos na avaliação³⁶ que realizamos. Eles professores demonstram interesse, e necessidade, em participar de cursos de atualização e reconhecem a troca de experiência entre os colegas.

Este ano, algum material trazido por outros participantes foi socializado. Desejo uma lista bibliográfica (livros, jornais, textos) e sites da internet com os assuntos abordados. Ir ao laboratório do IFUSP, pelo menos uma tarde, para fazer alguma experiência ou verificação que possa servir de exemplo para nossa sala de aula do EM. (PB)

(...) a troca de experiências com os colegas e o contato com o ambiente acadêmico é extremamente compensador. (PC)

³⁶ Essa avaliação encontra-se no anexo: Modelo da ficha de avaliação individual do curso: Energia Nuclear, propostas para a sala de aula.

Foi muito bom participar de uma atividade de aprimoramento profissional, principalmente por ser um assunto moderno na Física e onde tem muitas novidades que não vimos no curso de graduação. (PD)

Aproveitamento das experiências dos professores para que desenvolvam atividades factíveis em sala de aula nos dias atuais. (PF)

Os professores têm interesse em inovar sua prática docente e reconheceram nossa proposta.

Nós precisamos de um novo paradigma para o ensino médio nas escolas públicas é um fato inquestionável. Neste sentido as propostas do curso são pertinentes. (PC)

Percebemos a preocupação dos professores com a questão da seleção dos conteúdos:

Como em qualquer assunto não é possível abordar-se todos os aspectos, mas há alguns tópicos que podem ser motivadores como: A bomba, o lixo atômico, geração de energia, usos medicinais. (PC)

Os professores reconheceram a presença dos elementos CTS e sua importância na formação dos alunos.

Este tema está em alta no momento, devido a Angra 3 e futuras Usinas, logo este assunto é parte integrante do cotidiano do educando. (PA)

Os assuntos que envolvem o cotidiano, a tecnologia [...] interessam mais aos alunos. Quando ocorre a necessidade de contas percebo um desinteresse no geral pelos alunos. Como este assunto, Física Nuclear, está aparecendo com frequência nos meios de comunicação torna-se interessante a inclusão destes modernos assuntos da física no ensino médio. (PD)

(...) intuito do aluno compreender posicionar-se melhor em relação aos diversos aspectos desse tema. (PF)

Bomba atômica: É necessário que o Brasil possua uma? Questões políticas, a não parcialidade do desenvolvimento da Ciência. (PF)

Os professores destacaram a importância de atividades diferenciadas, podemos concluir que a nossa estratégia em centrar essa 2ª intervenção em atividades foi reconhecida por eles e eles se apropriaram de algumas idéias:

As atividades foram ótimas, acredito que se for acrescentado ao curso visitas ao IPEN (reatores), mostrar detectores (Geiger), mostrar durante o curso as aplicações da energia nuclear. (PA)

Eu penso que um projeto educacional deve ter um elemento motivador e contextualizado. Também deve-se considerar os conhecimentos prévios do aprendiz. Primeiramente temos de criar uma situação motivadora, um filme, uma reportagem de jornal ou revista, uma pergunta feita durante uma aula, etc., para introdução do assunto. A preocupação inicial do professor não deve ser com o conteúdo, isto não quer dizer que este não deve ser trabalhado. (PC)

Uma vez problematizado, o uso de textos e atividades de pesquisa utilizando as mídias . (PC)

Participar de atividades [...] recortar de jornais e revistas as notícias, comentá-las... (PB)

Leitura de jornais, que achei muito interessantes e inclusive tirou dúvidas que eu tinha. Gostei da aula planejada no computador. Toda a problematização com as palavras motivou o trabalho final. (PD)

Problematização sobre coisas relacionadas à energia nuclear. (PF)

Como atividades de ensino para que os alunos se apropriem do conhecimento, tem que ser atividades nas quais eles participem ativamente e para isso, seminários sobre tópicos específicos e debates sobre temas polêmicos relacionados ao cotidiano como construção de Angra 3. (PE)

Como forma motivadora podemos utilizar vídeos e documentários sobre a bomba atômica (Início do fim, Projeto Manhathan, sobre acidentes nucleares,

Rádio Biquíni, Chernobyl 20 anos). Outras maneiras motivadores seria questionários para levantar as concepções dos alunos. (PD)

Apresentando atividades que coloque o aluno como agente ativo, como a atividade de problematização, mostrar uma usina nuclear, usar diversas ferramentas de ensino, como vídeos, *datashow*, textos impressos, simulação de programas relacionados à energia nuclear. (PF)

Em relação às propostas didáticas elaboradas pelos professores (Atividade 6B), que visavam inserir o tema Energia Nuclear na sala de aula que eles atuavam, percebemos que todos os professores fundamentaram suas propostas em atividades ou inseriam alguma atividade, que foi trabalhada no curso, em sua proposta. Percebemos que a maioria das atividades inseridas foram iguais às que sugerimos ao longo do curso, ou seja, eles se apropriaram das nossas atividades, e utilizaram isso como uma estratégia para inserir esse conteúdo, da mesma maneira que nós. Podemos perceber na proposta³⁷ sugerida pelo professor (PB), que foram contempladas as atividades: Ativ.1B: Onde há energia nuclear?; Ativ.2B: Construção do gráfico $Z \times N$; Ativ.3B: “quebra-cabeça” de uma usina nuclear; Ativ.5B: “Troca de perguntas”. Ou seja, grande parte das atividades que estruturaram nossa intervenção.

Na última avaliação que elaboramos com os professores, pedimos que eles escrevessem uma frase, sobre o aspecto mais marcante ao longo do curso. Em relação à essas frases destacamos o reconhecimento das atividades diferenciadas:

O aspecto mais marcante neste curso foi a troca seja de conceitos materiais ou maneiras de trabalhar na sala de aula (PA)

³⁷ Essa proposta encontra-se, na íntegra, no anexo: Propostas didáticas elaboradas pelos professores

O mais importante foram as atividades sugeridas [...] várias atividades diferentes e a possibilidade de desenvolver material para os professores atuarem (PD)

E o reconhecimento da importância da Universidade pública em apoiar e oferecer subsídios aos professores que trabalham na rede pública.

Interação entre a escola média e a universidade. Tanto os professores como os alunos da escola pública percebem a universidade como uma instituição inatingível, aliás, penso que isto acaba inibindo a participação de muitos professores nesse tipo de atividade. (PB)

Em relação aos "mapas"³⁸ (tipo organograma) que os professores elaboraram, apresentando a visão de conjunto do tema energia nuclear abordado no curso. Nos quais eles poderiam inserir qualquer elemento que considerassem como essenciais. Destacamos o mapa do Professor (PB) que inseriu, como elementos, algumas das atividades realizadas durante o curso (Onde há energia nuclear / Gráfico ZxN) associadas aos aspectos científicos (Reações nucleares, séries radioativas, instabilidade do núcleo, energia de ligação), tecnológicos (Usina, Reator, Bomba, Aplicações na medicina e agricultura), sociais (O que a energia nuclear representa para o país? / Responsabilidades sociais das ciências) e também aspectos relacionados à questão educacional (Como melhorar a educação? / Formação do cidadão).

Em relação ao mapa do Professor (PD), temos também algumas das atividades realizadas durante o curso (Onde há energia nuclear? / "Quebra-cabeça" da usina nuclear), a possibilidade do uso de materiais diversificados (Filmes / Textos / Reportagens), o reconhecimento de atividades diferenciadas, que não se configuram como "receitas" (Não há um modelo pronto / atividades diversificadas), o reconhecimento

³⁸ Esses mapas encontram-se no anexo: Mapas elaborados pelos professores no curso *Energia Nuclear: Propostas para a sala de aula*.

da atuação dos professores no curso (Professores participando do projeto) e destacando a questão educacional (propostas para a melhoria do ensino / sala de aula / alunos).

Podemos concluir, a partir dos exemplos mostrados, que os professores perceberam a estratégia diferenciada de nosso curso e consideraram as atividades como um ponto importante. Também reconheceram na estrutura do curso os aspectos científicos, tecnológicos e sociais e a questão da seleção de conteúdos, como necessária para uma organização curricular. Portanto, a opção de centrar em atividades e inserir os professores na elaboração conjunta, motivou uma participação ativa deles.

Percebemos, que os três elementos analisados nesse capítulo estão, de certa forma, acoplados. O fato de encontrarmos ressonância com a idéia de complexificação do conhecimento, que toma como referência o conhecimento dos alunos, apresentada por García (1998), como critério de seleção de conteúdo, em oposição à Transposição Didática defendida por Chevallard (1998). O fato de contemplar os elementos da tríade CTS, na elaboração de nossa matriz de conteúdos. Assim como as estratégias de atividades, que foram desenvolvidas em paralelo com a organização e seleção do conteúdo. Constituem elementos que são coerentes e levam à mesma direção se reforçando, de certa forma, um ao outro, no sentido de diversificar a aprendizagem.

CAPÍTULO 6

Considerações Finais

O objetivo central desse trabalho visava identificar problemas e individualizar alguns elementos que dificultam a efetiva inserção da FMC no EM, investigando seus possíveis caminhos para a sala de aula. Algumas das hipóteses iniciais que nos orientaram dirigiam seu foco aos professores. Nessa perspectiva, as dificuldades encontradas pelos professores, no percurso para a sala de aula, estariam relacionadas à sua formação, ou seja, às suas próprias lacunas e dificuldades com o conhecimento de FMC, muitas vezes ausente em sua formação inicial.

Pretendíamos investigar esse problema, de modo a identificar o que se passa com os professores ou suas dificuldades, a partir de um contato com propostas de inserção de temas de física moderna, em levar esses mesmos temas para suas salas de aula. Ou seja, tratava-se de investigar o que acontece no “meio de campo”, entre cursos de formação continuada, por exemplo, e suas práticas de aula, identificando aqueles elementos que poderiam facilitar ou dificultar a chegada de novos conhecimentos ao ensino médio.

Percebemos, no entanto, que o problema da inserção da FMC no EM vai muito além do que a falta de propostas ou de discussões sobre a formação dos professores. O professor é capaz de realizar essa inserção desde que desenvolva uma autonomia e

acredite, de fato, nessa possibilidade. Mas, para isso, é preciso que haja possibilidades e propostas em ressonância com os interesses educacionais desejados.

Nesse sentido, percebemos a necessidade de investigar as estruturas, seqüências e escolhas temáticas que estão sendo propostas para a inserção da FMC, assim como as estratégias de trabalho. E compreender quais elementos devem comparecer no processo de seleção e organização dos temas da FMC a serem desenvolvidos no EM, para que esses temas assumam, de fato, significados para os alunos e possam encontrar ressonância em salas de aula desse nível.

Acreditamos ser essencial, na elaboração de propostas de ensino, a discussão sobre “o quê” ensinar, ou seja, sobre quais conteúdos, ênfases e abordagens são apropriadas para a formação do jovem, hoje na escola básica. E uma seleção e organização de temas e conteúdos escolares são concebidas, necessariamente, com base nas finalidades de ensino pretendidas, de modo que os “o quê” ensinar estão intimamente relacionados aos “para quê” ensinar. Em nosso entender, são esses os parâmetros essenciais para conceber programas e propostas educacionais.

De todo modo, seja qual for a opção mais adequada ao curso ou ao professor, há que se fazer escolhas, priorizar assuntos, reelaborar cronogramas, repensar enfoques e atividades. Enfim, há que se reconceber, ainda que parcial e timidamente, algumas mudanças em sua prática, o que, de qualquer modo, é necessário e desejável.

Tal discussão, ao nosso ver, coloca-se tanto em âmbito abrangente, na proposição de currículos gerais, como em propostas locais, de inserção de conteúdos de ensino, em dado momento e contexto. E, no que se refere à FMC, em que propostas estão sendo debatidas e delineadas, essa reflexão torna-se ainda mais necessária e urgente. Cabe discutir, por exemplo, em que medida a seleção de conhecimentos que

está sendo apresentada nos livros didáticos recentes cumpre as finalidades e os objetivos esperados para a introdução do conhecimento de FMC no ensino médio.

Portanto, além dos vários problemas comumente identificados, há também uma questão central que se refere à seleção e organização dos conteúdos de FMC a serem abordados, associados às estratégias a serem privilegiadas. Diante de todo o vasto conjunto de conhecimentos contemplados pela Física do século XX, cada apresentação corresponde a uma dada seleção desses conteúdos.

Como vimos, a maior parte dos livros didáticos de Física para o EM tem como conteúdos a transposição direta a partir dos campos da FMC do ensino superior, ou seja, do “saber sábio” para o “saber a ser ensinado”, segundo a teoria da Transposição Didática (Chevallard, 1998). Esse aspecto resulta na importância dada a temas tais como relatividade e a dualidade onda-partícula. Assim, os recortes feitos para esse nível de ensino seguem, sobretudo, uma lógica conceitual da Física, fazendo apenas simplificações ou “sínteses” de modo a constituírem versões abreviadas desse conhecimento.

De certa maneira, podemos dizer que isso não é algo novo. Os livros também organizam os conteúdos da Física Clássica dessa forma, mas esses conteúdos foram incorporados há muito tempo no currículo do EM e, portanto, as seleções implícitas já estão mais consolidadas. Ao contrário, isso não ocorre com os conteúdos da FMC, sendo necessário realizar as escolhas e recortes, já que se trata de um conteúdo amplo a ser selecionado.

Nossos resultados sinalizam que os livros didáticos, voltados ao Ensino Médio, não trazem conhecimentos de FMC suficientes para contemplar os objetivos educacionais desejados. Isso significa que, na perspectiva da síntese efetuada, provavelmente para limitar a extensão dos temas, perde-se o significado conceitual central, sem também

proporcionar elementos suficientes para a compreensão do mundo atual. O tratamento e a importância, por exemplo, do tema Física Nuclear, no contexto dos temas de FMC abordados, é bastante reduzido, o que contrasta com a relevância das questões tecnológicas e sociais atuais.

Ao mesmo tempo, cada livro didático, ao estabelecer sua própria proposta, tem um alcance significativo, considerando as características editoriais desses livros, no sentido de consolidar sua seleção como “o” conhecimento escolar sobre o tema. Reconhecendo que o conhecimento expresso no livro didático é, muitas vezes, uma mera simplificação do conhecimento da ciência (Pregolatto, 1994), parece-nos especialmente importante acompanhar e refletir sobre as escolhas e definições dos conteúdos de FMC que estão se instaurando no Ensino Médio.

Esses resultados apontam que, se de um lado as práticas da educação escolar incorporaram orientações oriundas da pesquisa em ensino e das diretrizes e orientações curriculares nacionais, no sentido de inserir no ensino médio temas da FMC, por outro lado, não o fizeram na perspectiva de uma aprendizagem com significado, na qual esses temas ganhem sentido, estejam contextualizados no mundo contemporâneo e promovam competências para uma formação cultural mais abrangente.

Ao mesmo tempo, pudemos verificar que boa parte das propostas de inserção da FMC no EM tem como referência implícita a teoria da Transposição Didática, o que não foi o caso do particular recorte que construímos. Sem questionar vantagens ou desvantagens de transposições que utilizam o saber científico como única referência, nossa abordagem apenas sinaliza a existência de alternativas. Em nossas propostas encontramos ressonância com a ideia de complexificação do conhecimento apresentada por García (1998), como critério de seleção de conteúdo, em oposição à Transposição Didática defendida por Chevallard (1998).

Acreditamos que essa seleção deveria responder às diferentes justificativas que vêm sendo apontadas para a inserção da FMC, do ponto de vista dos objetivos educacionais a serem privilegiados. Portanto, elaboramos duas propostas de inserção da FMC o EM, privilegiando aspectos formativos, que podem ser organizadas em uma matriz de referência, como apresentamos no Capítulo 4, contemplando paralelamente, em três eixos, os elementos CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade), articulados com o conteúdo.

A proposta da organização do conteúdo sob forma de uma matriz permite explicitar, de partida, os vários aspectos que optamos por privilegiar, de forma articulada. Portanto, nossa proposta curricular não se configura como uma seqüência linear de tópicos, pois partimos de um mapa, organizado na forma de uma matriz, que apresenta três colunas, com diferentes objetivos formativos explícitos e que necessitam ser articulados com as linhas, de forma a possibilitar diversos percursos. Essa é a principal conclusão que obtivemos com esse trabalho e que orientou nossa pesquisa, ou seja, a possibilidade de promover uma reorganização dos conteúdos curriculares com base em diferentes perspectivas, e a contribuição, para isso, da organização em uma matriz de conhecimentos.

A articulação entre os diferentes passos de um percurso pela matriz é a busca pelas respostas às perguntas formuladas. Cada pergunta gera um novo movimento, que requer certo conhecimento, em alguma linha ou coluna da matriz. Ao mesmo tempo, cada resposta conduz, em geral, a outra pergunta.

Para possibilitar a articulação desejada, foi preciso desenvolver uma estratégia centrada em atividades voltadas para a sala de aula, como uma forma de encaminhar o aprendizado de um conhecimento a partir da necessidade da compreensão de uma questão a ser respondida e, também, para que os professores desenvolvam a autonomia necessária para a elaboração de outras atividades. Portanto, nossa estratégia também fez

parte do critério de seleção, ou seja, tornou-se um elemento adicional na forma de selecionar e organizar os conteúdos.

O fato de contemplarmos, na elaboração de nossa matriz de conteúdos, os elementos da tríade CTS possibilitando diversos percursos, assim como as estratégias de atividades, que foram desenvolvidas em paralelo com essa organização e seleção do conteúdo, se configuram como elementos essenciais no sentido de diversificar a aprendizagem.

Não pretendemos ter produzido uma proposta única, mas apenas exemplificar possibilidades de seleção que se aproximem dos objetivos desejados para a introdução desses temas. E, dessa forma, abrem-se algumas perspectivas para a continuidade, e complementação, desse trabalho já que temos pela frente uma longa jornada, no sentido da concretização da inserção de novos conteúdos nas salas de aula do nosso país.

Em relação às futuras perspectivas, acreditamos que a questão da seleção de conteúdo destaca-se como um problema central, sendo necessário, portanto, um maior aprofundamento das diferentes abordagens e teorias que visam orientar a organização curricular. Essa questão é particularmente relevante no caso da FMC, na medida em que esse campo não possui ainda uma tradição escolar estabelecida.

Outra questão que parece necessitar de uma maior investigação diz respeito ao âmbito das possibilidades levantadas com essa estratégia de organização. Em linhas gerais, trata-se de investigar em que medida essa forma pela qual organizamos o conteúdo em uma matriz é específica de determinados conteúdos ou pode ser generalizada. À primeira vista, talvez ela tenha algumas especificidades, especialmente levando em consideração a necessidade de explicitar também objetivos formativos mais amplos, considerando outras dimensões da questão do ensino-aprendizagem.

Finalmente, em relação à utilização de estratégias baseadas em atividades, há ainda necessidade de um maior aprofundamento. Nossa abordagem pode ser considerada, de certa forma, como tendo sido desenvolvida apenas no nível da exemplificação, faltando ainda ser objeto de uma reflexão mais detalhada. Grande parte do material obtido pode vir a ser melhor analisado, mas talvez ele ainda seja insuficiente. Nesse contexto, a questão central parece dizer respeito à identificação dos elementos que contribuem para a apropriação pelo professor das perspectivas educacionais por nós apresentadas, de forma autônoma. Isso significa proporcionar o envolvimento e o diálogo necessário para um contínuo repensar da profissão professor.

Enfim, esperamos ter contribuído com elementos para uma reflexão sobre os diferentes sentidos que a FMC pode assumir na escola de ensino médio, contemplando, ao mesmo tempo, uma discussão acerca dos critérios de seleção e organização de conteúdos, que pode ser extrapolada para outras situações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIKENHEAD, G. S. What is STS science teaching? In: SOLOMON, J., AIKENHEAD, G. STS education: international perspectives on reform. New York: Teachers College Press, p.47-59, 1994.
- AIKENHEAD, G. S. STS Education. In R. Cross (Ed.): A Vision for Science Education. 59-75. New York: Routledge Falmer, 2003.
- ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio. Curso de Física, três vols. São Paulo: SCIPIONE, 1997.
- ALVETTI, Marco Antônio Simas; DELIZOICOV, Demétrio. Ensino de Física Moderna e contemporânea e a revista hoje. In: Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Florianópolis: SBF, 1998.
- AMALDI, Ugo. Imagens da Física: As idéias e as experiências, do pêndulo aos quarks. Vol. único. São Paulo: SCIPIONE, 1995.
- ARRUDA, Sérgio de Mello. Entre a inércia e a busca: reflexões sobre a formação em serviço de professores de física do ensino médio. Tese de Doutorado, Faculdade de Educação – USP. São Paulo: 2001.
- ARRUDA, Sergio M.; VILLANI, Alberto. Inserção da Física Moderna no 2º grau: problemas e perspectivas. In: Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Florianópolis: SBF, 1998.
- AULER, D. Movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS): Modalidades, Problemas e Perspectivas em sua Implementação no Ensino de Física. In: I Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis, 1998.

- BASSO, Andressa Cátia. O átomo de Bohr no nível médio: uma análise sob o referencial lakatosiano. Dissertação de Mestrado UFSC - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Florianópolis: 2004.
- BONJORNIO, José Roberto; BONJORNIO, Regina Azenha; BONJORNIO, Valter; RAMOS, Clinton Márcico. Física: história & cotidiano 3. São Paulo: FTD, 2003.
- BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio. Brasília: MEC; SEMTEC, 1999.
- _____. PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002.
- BRAZ JUNIOR, Dulcídio. Física Moderna: tópicos para o ensino médio. Campinas: Companhia da Escola, 2002.
- BROCKINGTON, José Guilherme de Oliveira. A realidade escondida: a dualidade onda-partícula para aluno do ensino médio. Dissertação de Mestrado – USP – Programa de pós-graduação Interunidades em ensino de ciências (modalidade Física). São Paulo: 2005.
- BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. Serão as regras da transposição aplicáveis aos conceitos de física moderna. In: Anais do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Jaboticatubas: SBF, 2004.
- CABRAL, Fernando; LAGO, Alexandre. Física 3. São Paulo: Harbra, 2002.
- CAMARGO, Antônio Jose. A introdução de física moderna no segundo grau: obstáculos e possibilidades. Dissertação de mestrado. Florianópolis, UFSC, 1996.
- CANATO JUNIOR, Osvaldo. Texto e contexto para o ensino de física moderna e contemporânea na escola média. Dissertação de Mestrado – USP – Programa de pós-graduação Interunidades em ensino de ciências (modalidade Física). São Paulo: 2003.
- CARRON, Wilson; GUIMARÃES, Oswaldo. Física: volume único - coleção base – 2ª ed. São Paulo: Moderna, 2003.
- CARVALHO, Silvia Helena M.; ZANETIC, João. Ciência e arte, razão e imaginação: complementos necessários à compreensão da Física Moderna. In: Anais do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Jaboticatubas: SBF, 2004.
- CHEVALLARD, Yves. La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado. Buenos Aires: Aique, 1998.

- CORRÊA, Ana Lúcia Lopes. A prática de leitura e a escrita em aula de física mediadas por textos de divulgação científica. Dissertação de Mestrado – UFMG – Faculdade de Educação. Belo Horizonte: 2003.
- COSTA , Isa; SANTOS, Marly da Silva. A FMC na escola média: uma estratégia de mudança na prática docente. In: Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Florianópolis: SBF, 1998.
- CRUZ, Sonia Maria S.C. de Souza; ZYLBERSZTAJN, Arden. O evento acidente de Goiânia: experiência de CTS no ensino Fundamental. In: Atas do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Florianópolis: SBF, 2000.
- DELIZOICOV, Demétrio. Problemas e problematizações. In: PIETROCOLA, Maurício. (Org.) Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001, p.125-150.
- EINSTEIN, Albert. Como vejo o mundo. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1981.
- FAGUNDES, Maria Beatriz. Ensinando a dualidade onda-partícula sob uma nova ótica. Dissertação de Mestrado – USP – Programa de pós- graduação Interunidades em ensino de ciências (modalidade Física). São Paulo: 1997.
- FILHO, Jenner B. B. O ensino de mecânica quântica e o paradoxo da compreensão. In: Anais do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Jaboticatubas: SBF, 2004.
- FREIRE, Paulo. Pedagogia do oprimido. Rio de Janeiro: 17ª ed. Paz e terra, 1987.
- GARCÍA, J. Eduardo. Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares. Sevilla: Díada, 1998.
- GASPAR, Alberto. Física: Eletromagnetismo e Física Moderna 3. 1ª ed. São Paulo: Ática, 2003.
- GRECA, Ileana Maria; HERSCOVITZ, Victoria E. Mecânica Quântica para não físicos: avaliação de uma proposta. In: Atas do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Florianópolis: SBF, 2000.
- GRF - GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA – 3 Volumes. Física 1: Mecânica. São Paulo: Edusp, 1991. 336 p. Física 2: Física Térmica e Óptica. São Paulo: Edusp, 1991. 368 p. Física 3: Eletromagnetismo. São Paulo: Edusp, 1993.
- HERNANDES, Cláudio Luiz. Atividades experimentais no ensino da Física Moderna e a prática pedagógica de professores. Dissertação de Mestrado – UFSM. Santa Maria: 2002.

- KARAN, Ricardo Avelar Sotomaior. Relatividade Restrita no início do ensino médio: elaboração e análise de uma proposta. Dissertação de Mestrado UFSC - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Florianópolis: 2005.
- KARAN, Ricardo Avelar Sotomaior; CRUZ, Sonia Maria S. C. Souza; COIMBRA, Débora. A abordagem das relatividades em sala de aula. In: Atas do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Londrina: SBF, 2006a.
- KARAN, Ricardo Avelar Sotomaior; CRUZ, Sonia Maria S. C. Souza; COIMBRA, Débora. Uma releitura metodológica para o ensino de relatividade restrita. In: Atas do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Londrina: SBF, 2006b.
- MACHADO, Daniel Iria; NARDI, Roberto. Avaliação de um sistema hipermídia enquanto recurso didático para o ensino de conceitos de Física Moderna e sobre a natureza a Ciência. In: Atas do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Londrina: SBF, 2006.
- MEDEIROS, Alexandre; GERMANO, Auta Stella; ERNANDES, Francisco; TERTULIANO, João; COSTA, Renilton; CAMÊLLO, Ricardo. O ensino atual da física do século passado. Atas do XVI SNEF, 2005.
- MENEZES, Luis Carlos de. A matéria uma aventura do espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento físico. São Paulo: Editora da Física, 2005.
- MENEZES, Luis Carlos de; HOSOUKE, Yassuko. Para lidar com o mundo real, a física escolar também precisa ser quântica. Atas do XII SNEF. Belo Horizonte, MG p. 282-287, Jan. 1997.
- OLIVEIRA, Fábio Ferreira; VIANNA, Deise Miranda. O ensino de Física Moderna, com enfoque CTS: um tópico para o Ensino Médio Raios X. In: Atas do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Londrina: SBF, 2006.
- OSTERMANN, Fernanda; Tópicos de física contemporânea no ensino médio na formação de professores de Física. Tese de doutorado – Instituto de Física UFRGS. Porto Alegre: 2000.
- OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Tópicos de física contemporânea na escola média brasileira: um estudo com a técnica Delphi. In: Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Florianópolis: SBF, 1998.

- OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no ensino médio”. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.5, n.1, pp. 23-48, 2000.
- OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo desta problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. In: *Atas do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Florianópolis: SBF, 2000.
- OSTERMANN, Fernanda; PRADO, Sandra Denise; RICCI, Trieste S. F. Evolução conceitual de professores de física do ensino médio sobre o fenômeno da interferência quântica. In: *Atas do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Londrina: SBF, 2006.
- PAULO, I. J. C. de. Elementos para uma proposta de inserção de tópicos de física moderna no ensino de nível médio. Dissertação de mestrado - UFMT - Instituto de Educação. Cuiabá: 1997.
- PEREZ, José Rafael Boesso; CALUZI, João José. $E=mc^2$ Ensino médio e divulgação. In: *Anais do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Jaboticatubas: SBF, 2004.
- PINTO, A. Custódio; ZANETIC, João. É possível levar a física quântica para o ensino médio? *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.16, n.1: p. 7-34, abr. 1999.
- PREGNOLATTO, Yukimi. A eletrostática: o conhecimento possível e o conhecimento aprendido. Dissertação de mestrado. Instituto de Física e Faculdade de Educação - USP. São Paulo: 1994.
- RAMALHO, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. *Os fundamentos da física 3*. 8ªed. rev. e ampl. São Paulo: Moderna, 2003.
- RICARDO, E. C. ; ZYLBERSZTAJN, A. O ensino de física em nível médio e os parâmetros curriculares nacionais na formação inicial. In: *Anais do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Jaboticatubas: SBF, 2004.
- RODRIGUES, Carlos Daniel Ofugi. A inserção da teoria da relatividade no ensino médio. Dissertação de Mestrado UFSC - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Florianópolis: 2001.
- RODRIGUES, Carlos Daniel Ofugi; OLIVEIRA, Maurício Pietrocola. Análise de artigos sobre ensino de relatividade restrita pela transposição didática. In: *Atas do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Florianópolis: SBF, 2000.

- SAMAGAIA, Rafaela Rejane. Física Moderna no ensino fundamental: uma experiência com o Projeto Manhattan. Dissertação de Mestrado UFSC - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Florianópolis: 2003.
- SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA, Caio Sérgio. Física volume único – coleção ensino médio atual. São Paulo: Atual, 2003.
- SANCHES, Monica B.; OLIVEIRA, Jorge H. L.; NEVES, Marcos C. D.; RESQUETTI, Sílvia O. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino médio. In: Atas do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Londrina: SBF, 2006.
- SANTOS, Maria Eduarda do Nascimento Vaz Moniz dos. A cidadania na voz dos manuais escolares. Lisboa, Portugal: Livros Horizonte, 2001.
- SANTOS, Wildson Luiz Pereira; MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma Análise de Pressupostos Teóricos da Abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no Contexto da Educação Brasileira. Revista Ensaio-Pesquisa em educação em Ciências, v.2, n.2, p.1-23, 2002.
- SCHUCK, Aline Fernanda; SERRANO Agostinho. Um exemplo do uso de experimentos virtuais objetivando a introdução de conceitos de mecânica quântica na disciplina de estrutura da matéria. In: Anais do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Jaboticatubas: SBF, 2004.
- SEGRÉ, Emílio. Dos raios X aos quarks. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1987.
- SILVA, Djalma Nunes. Física Paraná - volume único – série novo Ensino Médio- 6ª ed. São Paulo: Ática, 2003.
- SIQUEIRA, Maxwell; PIETROCOLA, Maurício. A transposição didática aplicada à teoria contemporânea: a física de partículas elementares no ensino médio. In: Atas do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Londrina: SBF, 2006.
- SOUZA, Marcos Aurélio de. Poluição nuclear: a inserção da educação ambiental no ensino médio na perspectiva globalizante via enfoque CTS. Dissertação de Mestrado UFSC - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Florianópolis: 2005.
- STRIEDER, Dulce Maria. Atualização curricular e ensino de física na escola média. Dissertação de Mestrado – UFSM. Santa Maria: 1998.
- STRIEDER, Dulce Maria; TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. Atualização curricular e ensino de Física na escola média. In: Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Florianópolis: SBF, 1998.

- STRIEDER, Roseline Beatriz. Abordagem CTS e Ensino Médio. Dissertação de Mestrado – USP – Programa de pós-graduação Interunidades em ensino de ciências (modalidade Física). São Paulo: 2008.
- TALAVERA, Álvaro Csapo; PIAZZI, Pierluigi; CARVALHO, Luiz Tarcísio; SILVEIRA, Elcio Moutinho. Física: Ensino Médio: volume único, 1ª ed. São Paulo: Nova Geração, 2005.
- TAVOLARO, Cristiane R. C.; CAVALCANTE, Marisa A; SOUZA, Dione F.; MUZINATTI, João. Uma aula sobre o Efeito Fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. In: Atas do VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Águas de Lindóia: SBF, 2002.
- TERRAZZAN, E. A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º Grau. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.9, n.3, p. 209-214, dez. 1992.
- _____ Perspectivas para a Inserção da Física Moderna na Escola Média. Tese de Doutorado em Educação- FEUSP. São Paulo: 1994.
- TIPLER, P. A., LLEWELLYN, R. A., Física Moderna, 3a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- VALADARES, Eduardo de C.; MOREIRA, Alysson M. Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 15, n. 2: p. 121-135, ago. 1998.
- VALENTE, Ligia; BARCELLOS, Marcília Elis; SALEM, Sônia; KAWAMURA, Maria Regina D. $E=mc^2$: Uma abordagem para a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. In: Atas do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Londrina: SBF, 2006.
- VALENTE, Ligia; BARCELLOS, Marcília Elis; SALEM, Sônia; KAWAMURA, Maria Regina D. Física Moderna e contemporânea no Ensino Médio: Expectativas e tendências. In: Atas do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis: SBF, 2007.
- VALENTE, Ligia; BARCELLOS, Marcília Elis; SALEM, Sônia; KAWAMURA, Maria Regina D. Física Nuclear: caminhos para a sala de aula. In: Atas do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Curitiba: SBF, 2008.
- VIANA, Davidson Rezende; FILHO, João Antônio Corrêa. Uma Análise de Applets de Física Moderna e Contemporânea para o Ensino Médio. In: Atas do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Londrina: SBF, 2006.

UEMA, Soraya Noriko. Atividades curtas multi-abordagem no ensino médio: a dependência sensível às condições iniciais da Teoria do Caos Determinístico. Dissertação de Mestrado – USP – Programa de pós-graduação Interunidades em ensino de ciências (modalidade Física). São Paulo: 2005.

WATANABE, Giselle. Elementos para uma abordagem temática: a questão das águas e sua complexidade. Dissertação de Mestrado – USP – Programa de pós-graduação Interunidades em ensino de ciências (modalidade Física). São Paulo: 2008.

WUO, Wagner. A física e os livros: uma análise do saber físico nos livros didáticos adotados para o ensino médio. São Paulo: EDUC; FAPESP, 2000.

ANEXOS

Fichas individuais dos livros de Ensino Médio analisados

1.

TÍTULO DO LIVRO: IMAGENS DA FÍSICA: AS IDÉIAS E AS EXPERIÊNCIAS, DO PÊNDULO AOS QUARKS.
AUTOR: AMALDI, UGO
EDITORA: SCIPIONE
ANO: 1995
PÚBLICO ALVO: ENSINO MÉDIO - DIDÁTICO
OUTRAS INFORMAÇÕES: VOL. ÚNICO
COMO A FÍSICA MODERNA É INSERIDA:

O livro insere a Física Moderna no final do livro, em dois capítulos:

*Capítulo 1: A relatividade e os quanta

(14 pág. teóricas + 0 pág. exercícios resolvidos + 0 pág. exercícios propostos)

- 1- A invariância da velocidade da luz
- 2- A teoria da relatividade restrita, equivalência massa-energia
- 3- Os quanta de luz, radiação térmica, lei de Planck
- 4- Efeito fotoelétrico
- 5- Propriedades corpusculares da luz, dualidade
- 6- O modelo atômico de Bohr, princípio de Pauli
- Física moderna e Física clássica

*Capítulo 2: Radioatividade, fissão e fusão nuclear

(20 pág. teóricas + 0 pág. exercícios resolvidos + 0 pág. exercícios propostos)

- 7- Os núcleos dos átomos
- 8- Decaimentos
- 9- A radioatividade natural
- 10- A interação fraca e os quarks
- 11- Aplicações dos radioisótopos
- 12- Energia de ligação, Fissão e fusão, reatores a fissão e a fusão**, a opção nuclear

Obs.: (34 pág. teóricas + 0 pág. exercícios resolvidos + 0 pág. exercícios propostos)

2.

TÍTULO DO LIVRO: FÍSICA: HISTÓRIA & COTIDIANO 3
AUTOR: BONJORNO, JOSÉ ROBERTO, ET AL
EDITORA: FTD
ANO: 2003

PÚBLICO ALVO: ENSINO MÉDIO - DIDÁTICO
OUTRAS INFORMAÇÕES: COLEÇÃO EM 3 VOLUMES
<p>COMO A FÍSICA MODERNA É INSERIDA:</p> <p>O livro insere a Física Moderna na unidade 4, a última do livro, em 3 capítulos:</p> <p><u>*Capítulo 18: Teoria da relatividade especial</u> (5 pág. teóricas + 1,5 pág. exercícios resolvidos + 0,7 pág. exercícios propostos)</p> <p>1- Teoria da relatividade especial, postulados de Einstein 2- Dilatação do tempo, Contração do comprimento 3- Massa e quantidade de movimento Relativística 4- Equivalência massa e energia</p> <p><u>*Capítulo 19: As idéias da Física Quântica</u> (10 pág. teóricas + 2 pág. exercícios resolvidos + 3,5 pág. exercícios propostos)</p> <p>5- Radiação do corpo negro, A constante de Planck, Radiação térmica e cor de metais aquecidos 6- Efeito fotoelétrico 7- O efeito Compton 8- Dualidade onda-partícula 9- Modelo atômico de Bohr, Modelo atômico atual 10- Princípio de incerteza, Mecânica Quântica</p> <p>Box: Física e cotidiano: células fotoelétricas (1 pág.) Texto histórico: Missão científica de Sobral (2 pág.) Box: Física e cotidiano: Big Bang (1 pág.)</p> <p><u>*Capítulo 20: Física Nuclear</u> (4 pág. teóricas + 0,5 pág. exercícios resolvidos + 1,5 pág. exercícios propostos)</p> <p>11- Radioatividade natural, Tipos de emissão 12- A fusão e a fissão Nuclear</p> <p>Obs.: São no total 19 pág. teóricas + 4 pág. exercícios resolvidos + 6 pág. exercícios propostos) Além de 4 pág. destinadas a <i>box</i> complementares</p>

3.

TÍTULO DO LIVRO: FÍSICA 3
AUTOR: CABRAL, FERNANDO; LAGO, ALEXANDRE
EDITORA: HARBRA
ANO: 2002
PÚBLICO ALVO: ENSINO MÉDIO - DIDÁTICO
OUTRAS INFORMAÇÕES: COLEÇÃO EM 3 VOLUMES
<p>COMO A FÍSICA MODERNA É INSERIDA:</p> <p>O livro insere a Física Moderna na Unidade 4: Interação da radiação com a matéria, a última do livro, após o capítulo de ondas eletromagnéticas em um único capítulo dividido em assuntos e alguns sub-itens)</p> <p><u>*Capítulo 12: Física Moderna e Física atual</u> (22 pág. teóricas + 2,5 pág. exercícios resolvidos + 5 pág. exercícios propostos)</p> <p>1- O surgimento da teoria quântica, A radiação do corpo negro, A situação experimental 2- O efeito fotoelétrico 3- O espectro dos elementos, a explicação dos espectros 4- Orbitais e a Teoria quântica, o modelo de Bohr 5- A dualidade</p>

- 6- Teoria da relatividade, a necessidade de uma nova teoria
- 7- A teoria da relatividade, a simultaneidade
- 8- A medida do tempo
- 9- Matéria e energia

- Tópico especial: O universo (6 pág.)
- Tópico avançado: Laser (2 pág.)
- Construção de um espectrômetro (1,5 pág.)

Obs.: São no total **22** pág. teóricas + **2,5** pág. exercícios resolvidos + **5** pág. exercícios propostos)
Além de **9,5** pág. destinadas a *box* complementares

4.

TÍTULO DO LIVRO: FÍSICA
AUTOR: CARRON, WILSON; GUIMARÃES, OSWALDO
EDITORA: MODERNA
ANO: 2003
PÚBLICO ALVO: ENSINO MÉDIO - DIDÁTICO
OUTRAS INFORMAÇÕES: VOLUME ÚNICO-2ª ED.
<p>COMO A FÍSICA MODERNA É INSERIDA:</p> <p>O livro insere a Física Moderna na Unidade V, a última do livro, em dois capítulos:</p> <p><u>*Capítulo 35: Relatividade e Física Atômica</u> (5 pág. teóricas + 2 pág. exercícios resolvidos + 2 pág. exercícios propostos)</p> <ul style="list-style-type: none"> 1- Relatividade (postulados) 2- Dilatação dos tempos e contração das distâncias 3- Dinâmica relativística 4- A energia quantizada 5- Efeito fotoelétrico 6- O átomo de Bohr <p><u>*Capítulo 36: Radioatividade e Física Nuclear</u> (8 pág. teóricas + 1 pág. exercícios resolvidos + 2 pág. exercícios propostos)</p> <ul style="list-style-type: none"> 7- Radioatividade e decaimento radioativo 8- Aplicações da radioatividade: radioterapia e arqueologia 9- Raios X 10- Reações nucleares, energia de ligação e curva de Winsacker 11- Fissão e Fusão Nuclear <p>Texto: Qualidade de vida (sobre radiocirurgia) 0,5 pág.</p> <p>Obs.: São no total 13 pág. teóricas + 3 pág. exercícios resolvidos + 4 pág. exercícios propostos) Além de 0,5 pág. De textos complementares</p>

5.

TÍTULO DO LIVRO: FÍSICA: ELETROMAGNETISMO E FÍSICA MODERNA 3
AUTOR: GASPAS, ALBERTO
EDITORA: ÁTICA
ANO: 2003
PÚBLICO ALVO: ENSINO MÉDIO - DIDÁTICO

OUTRAS INFORMAÇÕES: COLEÇÃO EM 3 VOLUMES (1ª ED.)
COMO A FÍSICA MODERNA É INSERIDA:
<p>O livro insere a Física Moderna no tópico 4 do capítulo 11, junto com a discussão das ondas eletromagnéticas, e segue em mais três capítulos:</p> <p><u>*Capítulo 11: Das ondas eletromagnéticas aos fótons</u> (11 pág. teóricas + 1 pág. exercícios resolvidos + 1,5 pág. exercícios propostos)</p> <p>1- A natureza corpuscular das ondas eletromagnéticas 2- A dualidade onda-partícula, o eletromagnetismo, a óptica e os fótons</p> <p><u>*Capítulo 12: Relatividade</u> (13 pág. teóricas + 7,5 pág. exercícios resolvidos + 1,5 pág. exercícios propostos)</p> <p>3- Introdução, as coordenadas do espaço-tempo, Relatividade galileana, a relatividade e o movimento ondulatório 4- O enigma do éter 5- Os postulados da teoria da relatividade restrita, a impossibilidade da simultaneidade, a relatividade das velocidades 6- A dilatação do tempo 7- Quantidade de movimento e massa relativística 8- Energia relativística, Energia e Quantidade de movimento relativísticas. -Conclusão 9- Ensaio: Teoria da Relatividade Geral</p> <p><u>*Capítulo 13: Dos raios X aos quarks-I</u> (19 pág. teóricas + 2,5 pág. exercícios resolvidos + 1,5 pág. exercícios propostos)</p> <p>10- Introdução, os raios X, a difração do raio X 11- A radioatividade, raios catódicos, raios beta elétron 12- Radiação térmica, o enigma do espectro da radiação térmica, o quantum de ação 13- O átomo de Rutherford, o átomo de Bohr 14- O espectro do átomo de hidrogênio 15- A experiência de Franck-Hertz</p> <p><u>*Capítulo 14: Dos raios X aos quarks -II</u> (24 pág. teóricas + 2 pág. exercícios resolvidos + 2 pág. exercícios propostos)</p> <p>16- O spin do elétron 17- Pauli e o Princípio da Exclusão 18- As ondas de matéria 19- A mecânica ondulatória 20- O Princípio de Incerteza 21- O nêutron e o pósitron, o neutrino e a conservação da energia, o novo modelo atômico e o núcleo 22- Energia nuclear 23- Um novo tipo de partícula, a física de partículas -Conclusão</p> <p>Obs.: São no total (67 pág. teóricas + 13 pág. exercícios resolvidos + 6,5 pág. exercícios propostos) Além de 9 pág. destinadas a <i>box</i> de discussão, deduções, históricos e de aprofundamento.</p>

6.

TÍTULO DO LIVRO: OS FUNDAMENTOS DA FÍSICA 3
AUTOR: RAMALHO, FRANCISCO, ET AL
EDITORA: MODERNA
ANO: 2003
PÚBLICO ALVO: ENSINO MÉDIO - DIDÁTICO
OUTRAS INFORMAÇÕES: COLEÇÃO EM 3 VOLUMES (8ª ED.)
COMO A FÍSICA MODERNA É INSERIDA:

O livro insere a Física Moderna na parte 4, a última do livro, em três capítulos:

*Capítulo 18: Relatividade especial

(12 pág. teóricas + 1 pág. exercícios resolvidos + 4,5 pág. exercícios propostos)

- 1- Introdução, Relatividade na Física Clássica, Relatividade galileana
- 2- Experiência de Michelson-Morley
- 3- Relatividade de Einstein
- 4- Modificações na relatividade galileana, composição relativística de velocidades
- 5- Dilatação do tempo, contração do comprimento
- 6- Massa e energia
- 7- Energia e quantidade de movimento
box: História da física: Einstein e seu tempo

*Capítulo 19: Física Quântica

(11 pág. teóricas + 1 pág. exercícios resolvidos + 8 pág. exercícios propostos)

- 8- Teoria dos quanta
- 9- Efeito fotoelétrico, célula fotoelétrica
- 10- O átomo de Bohr
- 11- A natureza “dual” da luz
- 12- Dualidade onda-partícula: a hipótese de De Broglie
- 13- Princípio de incerteza de Heisenberg

*Capítulo 20: Física Nuclear

(10,5 pág. teóricas + 0,5 pág. exercícios resolvidos + 4 pág. exercícios propostos)

- 14- As forças fundamentais da Natureza, antipartículas
- 15- As partículas fundamentais da matéria
- 16- Decaimentos
- 17- Noções de radioatividade
- 18- Fissão e fusão Nuclear
- 19- Nascimento, vida e morte das estrelas

Obs.: São no total 33,5 pág. teóricas + 2,5 pág. exercícios resolvidos + 16,5 pág. exercícios propostos

Além de 1 pág. destinadas a *box* complementares.

7.

TÍTULO DO LIVRO: FÍSICA

AUTOR: SAMPAIO, JOSÉ LUIZ, CALÇADA, CAIO SÉRGIO

EDITORA: ATUAL

ANO: 2003

PÚBLICO ALVO: ENSINO MÉDIO - DIDÁTICO

OUTRAS INFORMAÇÕES: VOL. ÚNICO

COMO A FÍSICA MODERNA É INSERIDA:

O livro insere a Física Moderna na Unidade 6, a última do livro, em três capítulos:

*Capítulo 72: A Teoria da Relatividade

(11 pág. teóricas + 1 pág. exercícios resolvidos + 1 pág. exercícios propostos)

- 1- Referenciais inerciais, origem da Teoria da Relatividade, postulados de Einstein
- 2- A relatividade do tempo, a relatividade do comprimento
*Campos elétricos e magnéticos
- 3- A relatividade da massa

4- Massa e Energia, energia cinética

5- Matéria e radiação

6- Teoria da relatividade Geral

box: Discussão da bomba atômica -Einstein (0,5 pág.)

***Capítulo 73: Mecânica Quântica**

(8 pág. teóricas + 0 pág. exercícios resolvidos + 1,5 pág. exercícios propostos)

7- A radiação do corpo negro, lei de Planck

8- O efeito fotoelétrico

9- O átomo de Bohr

10- Quantidade de movimento do fóton, De Broglie

11- Mecânica Quântica, princípio da complementaridade

12- Princípio da incerteza

***Capítulo 74: Partículas elementares**

(9 pág. teóricas + 0 pág. exercícios resolvidos + 0,5 pág. exercícios propostos)

13- O átomo, forças nucleares

14- Partículas elementares

15- Os quarks

16- Fusão e fissão nuclear

Obs.: São no total 28 pág. teóricas + 1 pág. exercícios resolvidos + 2,3 pág. exercícios propostos)

Além de 1 pág. destinadas a *box* complementares.

8.

TÍTULO DO LIVRO: FÍSICA-PARANÁ

AUTOR: SILVA, DJALMA NUNES

EDITORA: ÁTICA

ANO: 2003

PÚBLICO ALVO: ENSINO MÉDIO - DIDÁTICO

OUTRAS INFORMAÇÕES: VOLUME ÚNICO-6ª ED.

COMO A FÍSICA MODERNA É INSERIDA:

O livro insere a Física Moderna, em cinco módulos, na parte III: Eletricidade-Física Moderna, junto com o eletromagnetismo, mas em módulos estanques:

***Módulo 70: Os raios e os espectros**

(3 pág. teóricas + 0,5 pág. exercícios resolvidos + 1/6 pág. exercícios propostos)

1- Início da Física Moderna, raios catódicos, radiação térmica

2- Raios X

3- Espectro de emissão e absorção

***Módulo 71: A Mecânica Quântica**

(2,25 pág. teóricas + 1 pág. exercícios resolvidos + 1 pág. exercícios propostos)

4- Lei de Planck

5 -Efeito fotoelétrico, função trabalho

***Módulo 72: A dualidade onda-partícula**

(4,5 pág. teóricas + 0,5 pág. exercícios resolvidos + 1 pág. exercícios propostos)

6- Dualidade, os fótons, a óptica e o eletromagnetismo

7- A matéria como ondas

8- O modelo atômico de Bohr

9- O princípio da incerteza

10- Hádrons, quarks e léptons

*Módulo 73: Relatividade

(3 pág. teóricas + 1 pág. exercícios resolvidos + 2 pág. exercícios propostos)

11- Sistema de referência inercial, simultaneidade

12- Dilatação do tempo e contração do comprimento

13- Quantidade de movimento, massa e energia relativística

*Módulo 74: Radioatividade

(2 pág. teóricas + 0 pág. exercícios resolvidos + 0 pág. exercícios propostos)

14- Emissão de partículas, decaimentos

15- Fissão e fusão

-Atividade proposta a partir da leitura de dois textos do prospecto da peça Copenhague (4 pág.)

Obs.: São no total 15 pág. teóricas + 3 pág. exercícios resolvidos + 3 pág. exercícios propostos

Além de 4 pág. destinadas a uma atividade, diferenciada.

9.

TÍTULO DO LIVRO: FÍSICA

AUTOR: TALAVERA, ÁLVARO CSAPO, ET AL

EDITORA: NOVA GERAÇÃO

ANO: 2005

PÚBLICO ALVO: ENSINO MÉDIO - DIDÁTICO

OUTRAS INFORMAÇÕES: VOLUME ÚNICO-1ª ED

COMO A FÍSICA MODERNA É INSERIDA:

O livro insere a Física Moderna na Unidade 6, a última do livro, em dois capítulos:

*Capítulo 1: O surgimento de uma nova Física

(5 pág. teóricas + 0,5 pág. exercícios resolvidos + 1,5 pág. exercícios propostos)

1- O “quantum” de energia

2- O efeito fotoelétrico

3- A quantização do átomo

*Capítulo 2: A teoria da relatividade

(5 pág. teóricas + 0,5 pág. exercícios resolvidos + 1,5 pág. exercícios propostos)

4- Postulados

5- O desvio da luz das estrelas

Texto: O buraco negro (1 pág.)

Obs.: São no total (10 pág. teóricas + 1 pág. exercícios resolvidos + 3 pág. exercícios propostos)

Matriz completa dos conteúdos do livro de referência abordados nos livros de Ensino Médio

	Amaldi	Bonjorno	Cabral	Carron	Gaspar	Ramalho	Sampaio	Paraná	Tavalera
TIPLER, P. A., LLEWELLYN, R. A.									
Capítulo 1: Relatividade									
Provas experimentais da Relatividade exp. Michelson e Morley			6			2			
Transformações de Galileu			6		3	1			
Os postulados de Einstein	1	1	7	1	5	3	1	11	
A transformação de Lorentz						4			
Dilatação dos tempos		2	8	2	6	5	2	12	4
Contração das distâncias		2		2	4	5	2	12	
Dilatação dos tempos		2	8	2	6	5	2	12	4
O paradoxo dos gêmeos e outras surpresas									
Capítulo 2: Relatividade II									
Momento Relativístico		3		3	7	7	3	13	4
Energia Relativística	2	4	9	3	8	6	4	13	4
Conversão de Massa em Energia e a Energia de Ligação							5*		
Massa Invariante							5		
Relatividade Geral					9		6		5
Capítulo 3: Quantização da carga, Luz e energia									
Quantização da carga elétrica									
Radiação do corpo negro	3	5	1		12		7	1	
Lei de Planck	3	5	1	4	12	8	7	4	1
O efeito fotoelétrico	4	6	2	5	1	9	8	5	2
Raios X				9	10*			2	
Efeito Compton		7							
Capítulo 4: O Átomo Nuclear									
Espectros atômicos			3		14			3	
O modelo Nuclear de Rutherford e o de Bohr	6	9	4	6	13	10	9	8	3
Espectros de Raios X									
O Experimento de Franck-Hertz					15				
Crítica da teoria de Bohr a da "velha" Mecânica Quântica									
Capítulo 5: Propriedades ondulatórias das partículas									
A hipótese de De Broglie					18	12	10	7	3
Medida do comprimento de onda das ondas de matéria									
Pacotes de onda									

Interpretação probabilística da função de onda									
O princípio de indeterminação		10			20	13	12	9	
Algumas consequências do princípio de indeterminação									
O dualismo onda-partícula	5	8	5		2	11	11	6	
Capítulo 6: A equação de Schroedinger									
A equação de Schroedinger em uma dimensão									
O poço quadrado infinito									
O poço quadrado finito									
Valores esperados e operadores									
O oscilador harmônico simples									
Reflexão e transmissão de ondas									
A equação de Schroedinger para duas (ou mais) partículas									
Capítulo 7: A física atômica									
A equação de Schroedinger em três dimensões									
Quantização do momento angular e da energia do átomo de hidrogênio									
As funções de onda do átomo de hidrogênio (distribuição)					19				
O Spin do elétron					16				
Momento angular total e o efeito Spin-Órbita									
Estados fundamentais dos átomos dos elementos: A tabela periódica (pauli)	7				17				
Estados excitados e os espectros dos elementos									
Capítulo 8: Física Estatística									
Estatística Clássica									
Estatística Quântica									
A condensação de Bose-Einstein									
O gás de fótons: Uma aplicação da estatística de Bose-Einstein									
Propriedades de um gás de Férmions									
PARTE 2- Aplicações									
Capítulo 9: Estrutura e espectro das moléculas									
A ligação Iônica									
A ligação covalente									
Outros tipos de ligação									
Níveis de energia e espectro das moléculas diatômicas									
Absorção, emissão estimulada e espalhamento									
Laser e Maser									
Capítulo 10: Física do estado sólido									
A estrutura dos sólidos									
Teoria clássica da condução de eletricidade									
O gás de elétrons livres nos metais									
Teoria quântica da condução de eletricidade									
Banda de energia em sólidos									

Semicondutores dopados									
-Junção e dispositivos semicondutores									
-Supercondutividade									
Capítulo 11: Física Nuclear									
A composição do núcleo									
Propriedades do núcleo no estado fundamental - Energia de ligação	12			10	22				
Radioatividade (atividade, 1/2 vida)	9			7		17			
Decaimento Alfa, Beta e Gama	8	11			11	16	13	14	
A força nuclear							13		
O modelo de camadas									
Capítulo 12: Reações nucleares e suas aplicações									
Reações nucleares	7			10	22				
Fissão e fusão	12	11		11	22	18	16	15	
Reatores nucleares	12	11		11		18			
Aplicações	11			8					
Capítulo 13: Física das partículas									
Partículas e antipartículas					21	14	14		
Interações fundamentais e a classificação das partículas									
Leis de conservação e simetrias									
O modelo padrão	10				23	15	15	10	
Para além do modelo padrão									
Capítulo 14: Astrofísica e cosmologia									
O sol									
As estrelas						19			
A evolução das estrelas									
Eventos cataclísmicos									
Os estados finais das estrelas									
Galáxias									
Gravitação e cosmologia									
Cosmogonia									

Atividade 2A: $E = mc^2$: umas continhas

1. Se um acréscimo/diminuição de energia de um objeto acarreta um acréscimo/diminuição de sua massa, vamos calcular a variação da massa em valor absoluto e percentual (valor relativo à massa inicial) nas seguintes situações:

(a) Um recipiente com 1 kg de água, à temperatura de 3°C , é aquecido até a temperatura de 97°C (pressão normal)

Dado: calor específico da água: $1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$.

(b) Uma tonelada de carvão é queimada em uma fornalha fechada, segundo a reação de combustão: $C + O_2 \rightarrow CO_2$ ($\Delta E = -94,0 \text{ Kcal/mol}$)

(c) Elétrons em um tubo de TV são acelerados do repouso até adquirirem uma energia cinética de $4,0 \times 10^{-15} \text{ J}$.

Dado: massa (de repouso) do elétron: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

(d) Um átomo Urânio bombardeado por um nêutron se , segundo a reação:

Dado: Os valores indicados junto aos símbolos dos elementos correspondem aproximadamente às suas massas atômicas em unidade de massa atômica, (u.m.a.), sendo $1,0 \text{ u.m.a.} = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

(e) Um átomo de hélio (^4He) é formado a partir da fusão de um átomo de deutério (^2H) com um átomo de trítio (^3H), segundo a seguinte reação:

Dado: Os valores indicados junto aos símbolos dos elementos correspondem aproximadamente às suas massas atômicas em unidade de massa atômica (u.m.a.), sendo $1,0 \text{ u.m.a.} = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

2. Qual a energia “contida” (associada à massa) em uma bola de sorvete de 200g? Se fosse possível aproveitar essa energia para alimentar um aparelho de TV de 100 W, por quanto tempo ele funcionaria?

3. Sabendo-se que em uma lâmpada incandescente obtemos, sob a forma de luz, 1/20 da energia fornecida (o restante é transformado em calor), qual o valor, em reais, de “um grama de luz elétrica”, em kWh?

Utilize: velocidade da luz: $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$

Unidades de Energia

	eV	kWh	cal	J	erg
1 eV	1	4.450×10^{-26}	3.827×10^{-20}	1.602×10^{-19}	1.602×10^{-12}
1 kWh	2.247×10^{25}	1	8.601×10^5	3.6×10^6	3.6×10^{13}
1 cal	2.613×10^{19}	1.163×10^{-6}	1	4.186	4.186×10^7
1 J	6.242×10^{18}	2.778×10^{-7}	0.2389	1	10^7
1 erg	6.242×10^{11}	2.778×10^{-14}	2.389×10^{-8}	10^{-7}	1

Atividade 5A: E=mc²: Aplicações da Energia Nuclear e das Radiações

Referências:

1. A Energia Nuclear e seus usos na sociedade (Odair Dias Gonçalves e Ivan Pedro Salati de Almeida, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Revista Ciência Hoje Vol. 37 Out/05)

2. Aplicações da Energia Nuclear – Apostila Educativa (Eliezer de Moura Cardoso, Ismar Pinto Alves, Cláudio Braz e Sonia Pestana, Comissão Nacional de Energia Nuclear, <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>)

Atividade

1. Elaboração de um quadro temático dos usos e desusos da Energia Nuclear.
2. Divisão da turma em 4 grupos:
 - i. Energia Nuclear na Pesquisa;
 - ii. Energia Nuclear na Saúde;
 - iii. Energia Nuclear na Indústria;
 - iv. Energia Nuclear: Geração, Segurança.
3. Leitura e discussão breve dos trechos fornecidos como referências básicas.
2. Elaboração de um questionário pelos professores com 4 questões sobre o tema pré-definido.
3. Exposição de uma síntese à turma toda, como forma de socialização dos temas.
4. Preenchimento final do quadro de aplicações da energia nuclear.
5. Resumo da atividade e discussão geral sobre benefícios e malefícios da utilização da energia nuclear.

Todos grupos (Trecho da Referência 1)

Introdução

Todos os materiais são formados por um número limitado de átomos, que, por sua vez, são caracterizados pela carga elétrica de seu núcleo e simbolizados pela letra Z. Em física, a descrição adequada do átomo para a compreensão de um determinado fenômeno depende do contexto considerado. Para os objetivos deste artigo, restritos às aplicações da energia nuclear, podemos considerar o núcleo como composto de prótons, com carga elétrica positiva, e nêutrons, sem carga. Ambos são denominados genericamente núcleons. A letra Z que caracteriza cada um dos átomos, naturais ou artificiais, representa o número de prótons no núcleo.

A maior parte da massa do átomo está concentrada em seu núcleo, que é muito pequeno (10^{-12} cm a 10^{-13} cm). Prótons e nêutrons têm massa aproximadamente igual, da ordem de $1,67 \times 10^{-24}$ gramas, e são caracterizados por parâmetros específicos (números quânticos) definidos pela mecânica quântica, teoria que lida com os fenômenos na escala atômica e molecular.

Os prótons, por terem a mesma carga, se repelem fortemente devido à força eletrostática. Isso tenderia a fazer com que essas partículas se afastassem umas das outras, o que inviabilizaria o modelo. Mas, como os núcleos existem, podemos concluir que deve existir uma força de natureza diferente da força eletromagnética ou da força gravitacional – e muito mais intensa que estas – que mantém os núcleos coesos. Quanto maior a energia de ligação média (soma de todos os valores das energias de ligação dividida pelo número de partículas), maior a força de coesão do núcleo. Este artigo irá tratar da energia nuclear, que está relacionada a essa força, bem como de seus usos na sociedade.

Tipos de radiação

Na natureza, existem 92 elementos. Cada elemento pode ter quantidades diferentes de nêutrons. Os núcleos com mesmo número de prótons, mas que diferem no número de nêutrons, são denominados isótopos de um mesmo elemento. Para determinadas combinações de nêutrons e prótons, o núcleo é estável – nesse caso, são denominados isótopos estáveis. Para outras combinações, o núcleo é instável (isótopos radioativos ou radioisótopos) e emitirá energia na forma de ondas eletromagnéticas ou de partículas, até atingir a estabilidade.

Dá-se o nome genérico de radiação nuclear à energia emitida pelo núcleo. As principais formas de radiação são: i) emissão de nêutrons; ii) radiações gama, ou seja, radiação eletromagnética, da mesma natureza que a luz visível, as microondas ou os raios X, porém mais energética; iii) radiação alfa (núcleos de hélio, formados por dois prótons e dois nêutrons); iv) radiação beta (elétrons ou suas antipartículas, os pósitrons, cuja carga elétrica é positiva).

Nas ciências nucleares, a unidade de energia geralmente utilizada é o elétron-volt (eV). As energias emitidas pelo núcleo são acima de 10 mil eV, valor que é cerca de bilhões de vezes menor que o das energias com que lidamos no dia-a-dia. Esse valor se torna significativo quando

lembramos que em cerca de 100 gramas de urânio existem em torno de 10^{23} átomos. Uma bomba como a de Hiroshima contém apenas 20 kg de matéria-prima, aproximadamente.

A liberação de energia do núcleo se dá através de dois processos principais: decaimento radioativo (também chamado desintegração) e fissão.

Todos Grupos (Trecho da Referência 2)

OS BENEFÍCIOS DA ENERGIA NUCLEAR E DAS RADIAÇÕES

Infelizmente são pouco divulgados os grandes benefícios da energia nuclear. A cada dia, novas técnicas nucleares são desenvolvidas nos diversos campos da atividade humana, possibilitando a execução de tarefas impossíveis de serem realizadas pelos meios convencionais. A medicina, a indústria, particularmente a farmacêutica, e a agricultura são as áreas mais beneficiadas. Os isótopos radioativos ou radioisótopos, devido à propriedade de emitirem radiações, têm vários usos. As radiações podem até atravessar a matéria ou serem absorvidas por ela, o que possibilita múltiplas aplicações. Mesmo em quantidades cuja massa não pode ser determinada pelos métodos químicos, a radiação por eles emitida pode ser detectada. Pela absorção da energia das radiações (em forma de calor) células ou pequenos organismos podem ser destruídos. Essa propriedade, que normalmente é altamente inconveniente para os seres vivos, pode ser usada em seu benefício, quando empregada para destruir células ou microorganismos nocivos.

A propriedade de penetração das radiações possibilita identificar a presença de um radioisótopo em determinado local.

Grupo 2 (Trecho da Referência 1)

Na saúde

Uma ferramenta importante no tratamento e diagnóstico de doenças são os radiofármacos, que são obtidos a partir de radioisótopos produzidos em reatores nucleares ou em aceleradores de partículas. Esses radioisótopos são, em geral, associados a substâncias químicas (fármacos) que se associam a órgãos ou tecidos específicos do corpo humano.

Na medicina nuclear, os radiofármacos são injetados no paciente, concentrando-se no local a ser examinado e emitindo radiação, que, por sua vez, é detectada no exterior do corpo por um detector apropriado, que pode transformar essa informação em imagens, permitindo ao médico observar o funcionamento daqueles órgãos.

Os radiofármacos são utilizados no diagnóstico de diversas patologias (figura 4). Têm meia-vida curta – da ordem de dias ou horas – e, em um curto período de tempo, diminuem sua atividade para níveis desprezíveis, minimizando a possibilidade de dano ao paciente.

O principal material empregado em medicina nuclear é o tecnécio-99m, que tem meia-vida de seis horas, ou seja, a cada seis horas a radiação emitida cai pela metade. Outros radiofármacos são o tálio-201 (meia-vida de três dias), gálio-67 (meia-vida de três dias), iodo-131 (meia-vida de oito dias) e flúor-18 (meia-vida de duas horas).

Uma técnica nova e importante na medicina nuclear é a PET (sigla, em inglês, para tomografia por emissão de pósitrons e elétrons), que utiliza radioisótopos de meia-vida muito curta e que têm como característica o decaimento com a liberação de pósitrons, sendo considerada por muitos especialistas a melhor e mais precisa forma de radiodiagnóstico por imagem disponível hoje. Esses radioisótopos são produzidos em aceleradores de partículas específicos (ciclotrons), sendo o principal produto o flúor-18, injetado no sangue do paciente na forma de fluorodeoxiglicose (FDG).

O Brasil produz esses radioisótopos no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen), em São Paulo, e no Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), no Rio de Janeiro, ambos da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Devido à meia-vida muito curta, os radiofármacos para PET devem ser produzidos próximos ao local de uso.

As radiações nucleares são utilizadas também em diversas terapias, principalmente no tratamento de câncer. Nesse caso, a irradiação das células cancerosas tem o objetivo de matá-las e impedir sua multiplicação. Uma das formas de aplicação da radiação consiste em se colocar uma fonte externa ao paciente, a uma certa distância do tumor a ser tratado (teleterapia). Tradicionalmente, utiliza-se uma fonte de cobalto-60 nesse tratamento, mas esse processo vem sendo substituído por aceleradores lineares, que produzem feixes de elétrons que, ao incidir em um alvo, geram fótons, que irão interagir com o tecido.

Outra forma de aplicação consiste em se colocar pequenas fontes em contato direto com a área do tecido a ser irradiada (braquiterapia). Essas fontes podem ser aplicadas por um determinado período de tempo e depois retiradas – como é feito, por exemplo, em tratamentos de câncer de útero – ou ser implantadas no corpo do paciente, como no tratamento de câncer de próstata.

Outro uso da radiação em medicina é a irradiação de sangue com raios gama. Esse método é usado no sangue a ser ministrado em pacientes que têm deficiência imunológica. Entre outras coisas, o tratamento com a radiação diminui a quantidade de linfócitos T (células de defesa) no sangue doado, o que reduz em muito no paciente o risco de rejeição do órgão ou do tecido transplantados.

Grupo 2 (Trecho da Referência 2)

TRAÇADORES RADIOATIVOS

As radiações emitidas por radioisótopos podem atravessar a matéria e, dependendo da energia que possuam, são detectadas (“percebidas”) onde estiverem, através de aparelhos apropriados, denominados detectores de radiação. Dessa forma, o deslocamento de um radioisótopo pode ser acompanhado e seu percurso ou “caminho” ser “traçado” num mapa do local. Por esse motivo, recebe o nome de traçador radioativo.

Traçadores Radioativos - Radioisótopos que, usados em “pequeníssimas” quantidades, podem ser “acompanhados” por detectores de radiação.

MEDICINA NUCLEAR

A Medicina Nuclear é a área da medicina onde são utilizados os radioisótopos, tanto em diagnósticos como em terapias.

Radioisótopos administrados a pacientes passam a emitir suas radiações do lugar (no caso, órgão) onde têm preferência em ficar.

Um exemplo prático bem conhecido é o uso do iodo-131 ($I-131$), que emite partícula beta, radiação gama e tem meia-vida de oito dias.

O elemento iodo, radioativo ou não, é absorvido pelo organismo humano preferencialmente pela glândula tireóide, onde se concentra. O funcionamento da tireóide influi muito no comportamento das pessoas e depende de como o iodo é por ela absorvido.

O fato de ser radioativo não tem qualquer influência no comportamento de um elemento químico em relação aos demais elementos.

Para diagnóstico de tireóide, o paciente ingere uma solução de iodo-131, que vai ser absorvido pela glândula. “Passando” um detector pela frente do pescoço do paciente, pode-se observar se o iodo foi muito ou pouco absorvido em relação ao normal (padrão) e como se distribui na glândula.

O detector é associado a um mecanismo que permite obter um “desenho” ou mapeamento, em preto e branco ou colorido, da tireóide. Um diagnóstico, no caso um radiodiagnóstico, é feito por comparação com um mapa padrão de uma tireóide normal. A mesma técnica é usada para mapeamento de fígado e de pulmão.

OS RADIOISÓTOPOS NA MEDICINA

Os radiofármacos usados em medicina no Brasil são, em grande parte, produzidos pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, da CNEN, em São Paulo.

O tecnécio-99 (Tc-99m) é utilizado, para obtenção de mapeamentos (cintilografia) de diversos órgãos: · cintilografia renal, cerebral, hepato-biliar (fígado), pulmonar e óssea; · diagnóstico do infarto agudo do miocárdio e em estudos circulatórios; · cintilografia de placenta.

Outro radioisótopo, o Samário-153 (Sm-153), é aplicado (injetado) em pacientes com metástase óssea, como paliativo para a dor. Esses produtos são distribuídos semanalmente pelo IPEN para os usuários.

A RADIOTERAPIA

A radioterapia teve origem na aplicação do elemento rádio pelo casal Curie, para destruir células cancerosas, e foi inicialmente conhecida como “Curieterapia”. Posteriormente, outros radioisótopos passaram a ser usados, apresentando um maior rendimento.

O iodo-131 também pode ser usado em terapia para eliminar lesões, identificadas nos radiodiagnósticos da tireóide, aplicando-se, no caso, uma dose maior do que a usada nos diagnósticos.

O iodo radioativo apresenta as características ideais para aplicação em Medicina, tanto em diagnóstico como em terapia: · tem meia-vida curta; · é absorvido preferencialmente por um órgão (a tireóide); · é eliminado rapidamente do organismo; · a energia da radiação gama é baixa. Fontes radiativas (= fontes de radiação) de célio-137 e cobalto-60 são usadas para destruir células de tumores, uma vez que estas são mais sensíveis à radiação do que os tecidos normais (sãos). Radioterapia = tratamento com fontes de radiação.

Um dos aparelhos de radioterapia mais conhecidos é a Bomba de Cobalto, usada no tratamento contra o câncer, e que nada tem de “bomba” (não explode). Trata-se de uma fonte radiativa de cobalto-60 (Co-60), encapsulada ou “selada” (hermeticamente fechada) e blindada, para impedir a passagem de radiação. Até bem pouco tempo, para este fim, eram utilizadas fontes de célio-137, que foram substituídas pelas de cobalto-60, que, entre outras razões técnicas, apresentam maior rendimento terapêutico.

No momento da utilização, a fonte é deslocada de sua posição “segura”, dentro do cabeçote de proteção (feito de chumbo e aço inoxidável), para a frente de um orifício, que permite a passagem de um feixe de radiação, concentrado sobre a região a ser “tratada” ou irradiada. Após o uso, a fonte é recolhida para a posição de origem (“segura”).

Deve ficar bem claro que um objeto ou o próprio corpo, quando irradiado (exposto à radiação) por uma fonte radiativa, NÃO FICA RADIOATIVO.

É muito comum confundir-se irradiação com contaminação. A contaminação se caracteriza pela presença de um material indesejável em determinado local. A irradiação é a exposição de um objeto ou de um corpo à radiação.

Portanto, pode haver irradiação sem existir contaminação, ou seja, sem contato entre a fonte radiativa e o objeto ou corpo irradiado. No entanto, havendo contaminação radioativa (= presença de material radioativo), é claro que haverá irradiação do meio contaminado. Não se deve confundir o efeito (construtivo ou destrutivo) da radiação com o fato de tornar radioativo um material, só possível por outros processos (em Reatores Nucleares ou aceleradores de partículas).

Grupo 3 (Trecho da Referência 1)

Usos na indústria

A indústria é uma das maiores usuárias das técnicas nucleares no Brasil, respondendo por cerca de 30% das licenças para utilização de fontes radioativas. Elas são empregadas principalmente para a melhoria da qualidade dos processos nos mais diversos setores industriais. As principais aplicações são na medição de espessuras e de vazões de líquidos, bem como no controle da qualidade de junções de peças metálicas.

As fontes mais utilizadas são o cobalto-60, o irídio-192, o cézio-137 e o amerício-241. A facilidade de penetração da radiação em diversos materiais, bem como a variação de sua atenuação com a densidade do meio que atravessa, tornam seu uso conveniente em medidores de nível, espessura e umidade. Na indústria de papel, esses medidores são utilizados para garantir que todas as folhas tenham a mesma espessura (padrão de gramatura), para atender às exigências de qualidade do mercado mundial, enquanto, na indústria de bebidas, a radiação é usada para controle de enchimento de vasilhames.

Outro uso importante das radiações nucleares está na aplicação de traçadores radioativos. Nesse método, uma substância com material radioativo é injetada em um meio, e é feito um acompanhamento de seu comportamento nos processos que se deseja observar. Traçadores radioativos também têm sido cada vez mais utilizados para detectar problemas de vazamentos e mau funcionamento em grandes plantas da indústria química, permitindo economia de tempo e de dinheiro.

Na exploração de petróleo, fontes de nêutrons são utilizadas em processos para determinar o perfil do solo, enquanto outras podem auxiliar a distinguir, nesse processo, a quantidade de água, gás e óleo existentes no material extraído, facilitando e barateando o processo de exploração.

Cada vez mais utilizados, os irradiadores industriais são instalações com compartimentos onde o material a ser tratado é exposto à radiação que irá matar bactérias e microrganismos, podendo ser usado como um processo de esterilização. Existem no mundo hoje cerca de 160 irradiadores industriais funcionando, sendo seis no Brasil. Essas instalações são utilizadas para irradiar e esterilizar materiais cirúrgicos, remédios, alimentos, materiais de valor histórico etc.

O cobalto-60 é o material mais utilizado como fonte de radiação. A exposição à radiação gama não contamina os materiais irradiados nem os transforma em materiais radioativos. Portanto, ao cessar o processo, não existe mais radiação nos materiais. Leva grande vantagem sobre substâncias químicas que são, às vezes, usadas para o mesmo fim e que deixam resíduos tóxicos. Também leva vantagem sobre a esterilização com calor – na qual os materiais são submetidos a altas temperaturas –, uma vez que a técnica permite a irradiação de

materiais plásticos, como seringas e fios cirúrgicos, sem afetar sua integridade.

Nos alimentos para consumo humano, a radiação gama elimina microrganismos patogênicos, como a *Salmonella typhimurium*. A irradiação de frutas, além de suprimir infestações indesejadas, eleva a vida útil do produto e aumenta o tempo para seu consumo, ao contrário da desinfecção com calor, que acelera o processo de amadurecimento.

Outra aplicação na agroindústria é o uso da técnica de 'macho estéril' para o combate a pragas na lavoura. Nessa técnica, são produzidos machos esterilizados da praga a ser combatida e que depois são soltos na região infestada, diminuindo a população ao afetar sua capacidade de reprodução. Esse processo é usado por países como Estados Unidos, México, Guatemala e Argentina no combate à mosca-da-fruta (*Ceratitis capitata*).

No Brasil, está em implantação um projeto semelhante no Nordeste, na região de produção de mangas e uvas, com patrocínio de prefeituras, governos estadual e federal, contando com auxílio da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

Grupo 3 (Trecho da Referência 2)

APLICAÇÕES NA AGRICULTURA

É possível acompanhar, com o uso de traçadores radioativos, o metabolismo das plantas, verificando o que elas precisam para crescer, o que é absorvido pelas raízes e pelas folhas e onde um determinado elemento químico fica retido.

Uma planta que absorveu um traçador radioativo pode, também, ser "radiografada", permitindo localizar o radioisótopo. Para isso, basta colocar um filme, semelhante ao usado em radiografias e abreuografias, sobre a região da planta durante alguns dias e revelá-lo.

Obtém-se o que se chama de auto-radiografia da planta.

A técnica do uso de traçadores radioativos também possibilita o estudo do comportamento de insetos, como abelhas e formigas.

Ao ingerirem radioisótopos, os insetos ficam marcados, porque passam a “emitir radiação”, e seu “raio de ação” pode ser acompanhado. No caso de formigas, descobre-se onde fica o formigueiro e, no caso de abelhas, até as flores de sua preferência.

A “marcação” de insetos com radioisótopos também é muito útil para eliminação de pragas, identificando qual predador se alimenta de determinado inseto indesejável. Neste caso o predador é usado em vez de inseticidas nocivos à saúde.

Outra forma de eliminar pragas é esterilizar os respectivos “machos” por radiação gama e depois soltá-los no ambiente para competirem com os normais, reduzindo sua reprodução sucessivamente, até a eliminação da praga, sem qualquer poluição com produtos químicos.

Em defesa da alimentação e do meio ambiente, pode-se, também, determinar se um agrotóxico fica retido nos alimentos ou quanto vai para o solo, para a água e para a atmosfera.

Ainda no campo dos alimentos, uma aplicação importante é a irradiação para a conservação de produtos agrícolas, como batata, cebola, alho e feijão. Batatas irradiadas podem ser armazenadas por mais de um ano sem murchar ou brotarem.

Grupo 3 (Trecho da Referência 2)

APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA

A aplicação de radioisótopos mais conhecida na indústria é a radiografia de peças metálicas ou gamagrafia industrial. Gamagrafia Impressão de radiação gama em filme fotográfico.

Os fabricantes de válvulas usam a gamagrafia, na área de Controle da Qualidade, para verificar se há defeitos ou rachaduras no corpo das peças.

As empresas de aviação fazem inspeções freqüentes nos aviões, para verificar se

há “fadiga” nas partes metálicas e soldas essenciais sujeitas a maior esforço (por exemplo, nas asas e nas turbinas) usando a gamagrafia.

Para ter-se indicação de nível de um líquido em um tanque, coloca-se uma fonte radiativa em um dos lados e, no lado oposto, um detector ligado a um dispositivo (aparelho) de indicação ou de medição.

Quando o líquido alcança a altura da fonte, a maior parte da radiação emitida pela fonte é absorvida por ele e deixa de chegar ao detector, significando que o líquido atingiu aquele nível. O mesmo artifício serve para indicar um nível mínimo de líquido desejado em um tanque. Nesse caso, a fonte e o detector devem ser colocados na posição adequada e, quando o líquido atingir esse ponto, deixará de absorver a radiação, que chegará ao detector com maior intensidade. Em geral, acrescenta-se um sistema de alarme, para soar ao ser atingido esse nível. No caso de indicação de nível máximo ocorrerá o contrário, isto é, a radiação chegará ao detector com menor intensidade.

A Indústria Farmacêutica utiliza fontes radioativas de grande porte para esterilizar seringas, luvas cirúrgicas, gaze e material farmacêutico descartável, em geral. Seria praticamente impossível esterilizar, pelos métodos convencionais que necessitam de altas temperaturas, tais materiais, que se deformariam ou se danificariam de tal forma que não poderiam ser mais utilizados.

Grupo 1 (Trecho da Referência 1)

Na pesquisa e no ambiente

A utilização de radioisótopos na pesquisa permite obter dados que seriam inviáveis por outros processos. Um grande número de processos físicos e biológicos investigativos emprega material radioativo. Na alimentação animal, por exemplo, é possível verificar e acompanhar o metabolismo de rações e outros alimentos utilizando radioisótopos que emitem radiação ao longo do processo metabólico.

Na pesquisa de plantas, os radioisótopos permitem verificar a absorção de nutrientes e o efeito de microrganismos, enquanto, no estudo de solos, possibilita observar os processos de infiltração de água no solo (lixiviação), bem como o processo de filtração (percolação),

possibilitando a verificação da qualidade do terreno estudado e das formas de melhorar sua produtividade.

Vale comentar, ainda que brevemente, mais três aplicações de técnicas nucleares no meio ambiente: i) a análise por irradiação com nêutrons, que permite medir quantidades extremamente pequenas de poluentes; ii) o uso de traçadores radioativos para mapear a origem de vazões da água e de contaminantes, o que possibilita obter, entre outras características, o tempo de recarga de aquíferos, facilitando seu manejo e uso racional; iii) a esterilização de lixo e dejetos orgânicos, de forma a garantir que não contenham microrganismos nocivos, é particularmente útil no tratamento de esgotos ou de lixo hospitalar.

Grupo 1 (Trecho da Referência 2)

DATAÇÃO POR CARBONO-14

O C-14 resulta da absorção contínua dos nêutrons dos raios cósmicos pelos átomos de nitrogênio nas altas camadas da atmosfera.

Esse isótopo radioativo do carbono se combina com o oxigênio, formando o CO₂, que é absorvido pelas plantas.

Fósseis de madeira, papiros e animais contêm C-14, cuja meia-vida é de 5.600 anos. Isso significa que, a cada 5.600 anos, a atividade do C-14 é reduzida à metade. Medindo-se a proporção de C-14 que ainda existe nesses materiais é possível saber a “idade” deles. Foi assim, por exemplo, que se determinou a idade dos Pergaminhos do Mar Morto.

OS RAIOS-X

Os raios-X são radiações da mesma natureza da radiação gama (ondas eletromagnéticas), com características idênticas. Só diferem da radiação gama pela origem, ou seja, os raios-X não saem do núcleo do átomo. Raios-X não são energia nuclear

Os raios-X são emitidos quando elétrons, acelerados por alta voltagem, são lançados contra átomos e sofrem frenagem, perdendo energia. Não têm, pois, origem no núcleo do átomo

Toda energia nuclear é atômica, porque o núcleo pertence ao átomo, mas nem toda energia atômica é nuclear. Outro exemplo de energia atômica e não nuclear é a energia das reações químicas (liberadas ou absorvidas).

A DESCOBERTA DOS RAIOS-X

O físico alemão Roentgen (pronúncia portuguesa: rêntguen) observou que saíam raios misteriosos de uma ampola de Crookes (físico inglês), capazes de atravessar folhas de papelão. Por isso, ele os chamou de raios “X”.

A ampola de Edison, que ficou conhecida como lâmpada incandescente, depois de aperfeiçoada, deu origem à ampola de Crookes, usada por Roentgen. Atualmente, a ampola mais famosa é o tubo de televisão.

A descoberta de Roentgen permitiu “fotografar” o interior de muitos objetos e o corpo humano, opacos à luz, mas transparentes aos raios-X.

Quando se eleva a voltagem de alimentação da ampola ou “tubo” de raios-X, eles se tornam mais penetrantes.

As primeiras aplicações dos aparelhos de raios-X ocorreram na Medicina, para diagnóstico de fraturas ósseas e, logo após, na Odontologia, para diagnóstico de canais dentários.

Foram desenvolvidos aparelhos mais potentes para uso em radiografia industrial (semelhante à gamagrafia). As principais desvantagens de tais aparelhos, para a indústria, são as seguintes: · as peças têm que ser levadas até eles, uma vez que é impraticável deslocar os aparelhos (de grande porte) e acessórios; · depende de fonte de alimentação (energia elétrica); · têm limitações, impostas pela forma das peças a serem radiografadas. Os aparelhos de Raios-X não são radioativos. Só emitem radiação quando estão ligados, isto é, em operação.

Em relação ao ser humano, os raios-X requerem os mesmos cuidados que a radiação gama e, por isso, não podem ser usados indiscriminadamente.

Grupo 4 (Trecho da Referência 1)

Geração de energia

Uma das principais utilizações da energia nuclear é a geração de energia elétrica. Usinas nucleares são usinas térmicas que usam o calor produzido na fissão para movimentar vapor de água, que, por sua vez, movimenta as turbinas em que se produz a eletricidade. Em um reator de potência do tipo PWR (termo, em inglês, para reator a água pressurizada), como os reatores utilizados no Brasil, o combustível é o urânio enriquecido cerca de 3,5%. Isso significa que o urânio encontrado na natureza, que contém apenas 0,7% do isótopo ^{235}U , deve ser processado ('enriquecido') para que essa proporção chegue a 3,5% (figura 5). Em reatores de pesquisa ou de propulsão – estes últimos usados como fonte de energia de motores em submarinos e navios –, o enriquecimento pode variar bastante. Para a confecção de bombas nucleares, é necessário um enriquecimento superior a 90%.

O processo completo de obtenção do combustível nuclear é conhecido como ciclo do combustível e compreende diversas etapas: i) extração do minério do solo; ii) beneficiamento para separar o urânio de outros minérios; iii) conversão em gás do produto do beneficiamento, o chamado yellow cake (ou 'bolo amarelo'); iv) enriquecimento do gás, no qual a proporção de ^{235}U é aumentada até o nível desejado; v) reconversão do gás de urânio enriquecido para o estado de pó; vi) fabricação de pastilhas a partir da compactação do pó; vii) e finalmente a montagem dos elementos combustíveis, quando se colocam as pastilhas em cilindros metálicos que irão formar os elementos combustíveis do núcleo do reator.

Atualmente, no mundo, estão em operação 440 reatores nucleares voltados para a geração de energia em 31 países. Outros 33 estão em construção. Cerca de 17% da geração elétrica mundial é de origem nuclear, a mesma proporção do uso de energia hidroelétrica e de energia produzida por gás. Alguns países desenvolvidos têm seu abastecimento de energia elétrica com um alto percentual de geração nuclear. Entre eles, a França tem 78%, a Bélgica 57%, o Japão 39%, a Coreia do Sul 39%, a Alemanha 30%, a Suécia 46%, a Suíça 40%. Somente nos Estados Unidos, os 104 reatores em funcionamento, que geram 20% da eletricidade daquele país, produzem mais eletricidade que todo o sistema brasileiro de geração elétrica. Além desses reatores, funcionam mais 284 reatores de pesquisa em 56 países, sem contar um número estimado de 220 reatores de propulsão em navios e submarinos.

Confiança e resíduos

A confiança na utilização de energia nuclear para geração de energia elétrica sofreu bastante em anos recentes devido a dois acidentes. O primeiro foi o

de Three Mile Island (Estados Unidos), que, apesar de não ter tido consequências radiológicas significativas, levou os países ocidentais a fazer uma revisão das medidas de segurança nas usinas nucleares em funcionamento, aumentando o rigor do licenciamento nuclear. O segundo foi o de Chernobyl (Ucrânia), que lançou na atmosfera grande quantidade de material radioativo.

Enquanto Three Mile Island fez com que se aumentassem os custos das usinas nucleares em funcionamento – devido à exigência de investimentos adicionais nos sistemas de segurança, causando atraso no licenciamento dos projetos em andamento –, Chernobyl aumentou a desconfiança em relação às centrais nucleares. Não foi devidamente considerado e divulgado, entretanto, o fato de aquela usina ter projeto e dispositivos de segurança totalmente diferentes dos reatores ocidentais.

Em parte em função desses fatores, os países ocidentais passaram algum tempo para voltar a investir em centrais nucleares. A exceção foi a França, que reafirmou sua opção pela energia nuclear, tornando-se o grande exportador de energia elétrica da Europa. Mesmo sem novas usinas, entretanto, a geração nuclear elétrica aumentou, graças à maior eficiência das usinas.

Nos Estados Unidos, as empresas nucleares passaram a modernizar suas usinas e, através da troca de alguns equipamentos, estão prorrogando a vida útil dos reatores por até mais 20 anos. Já se submeteram a esse processo e conseguiram aprovação 32 usinas nucleares. Estão sendo analisadas mais 16, e cerca de 30 outras já manifestaram seu interesse pela prorrogação. A previsão é de que, nos próximos anos, cerca de 80% das usinas nucleares norte-americanas tenham sua vida útil prolongada.

Na Ásia, não houve paralisação na construção de usinas nucleares. No Ocidente, outros países estão revendo sua posição. O que se observa é uma grande mudança, com vários países voltando a considerar a energia nuclear como opção viável, principalmente após a verificação do efeito crítico dos poluentes emitidos por outras formas de geração de energia elétrica. A Finlândia está começando a construir o que seria a primeira usina na Europa ocidental fora da França em muitos anos. A Suécia e a Suíça se recusaram a rejeitar a opção nuclear, deixando em aberto essa possibilidade. A Alemanha e a Itália, apesar de terem feito no passado uma opção por deixar de utilizar a energia nuclear na geração elétrica, hoje utilizam energia de origem nuclear importada da França. A Itália, em particular, já está reavaliando a questão.

Vale ressaltar que, entre as formas de geração de energia, a nuclear é uma das que produzem menor volume de rejeitos e a que tem maior cuidado com o acondicionamento e guarda deles. A dificuldade com essas ações é que os rejeitos radioativos podem durar até milhares de anos e, por isso, devem ficar isolados e protegidos.

O maior volume dos rejeitos corresponde àqueles de baixa e média atividade, que são os produzidos pelas áreas médica e industrial. Os rejeitos de alta atividade, provenientes dos combustíveis já utilizados das usinas nucleares, são armazenados nas próprias usinas, que contam com local adequado para armazenar todo o volume produzido em sua vida útil, até que surja solução definitiva para o problema.

Milhões de dólares vêm sendo gastos na busca de uma solução – de preferência, que torne o resíduo não radioativo e inócuo. Em todo o mundo, os depósitos de rejeitos radioativos têm que ser gerenciados e administrados pelo país, sendo controlados pelas respectivas agências reguladoras de atividades nucleares, segundo normas nacionais e internacionais, de modo a garantir a segurança dos mesmos.

Energia nuclear no país

O Brasil tem um programa amplo de uso de energia nuclear para fins pacíficos. Cerca de 3 mil instalações estão em funcionamento, utilizando material ou fontes radioativas para inúmeras aplicações na indústria, saúde e pesquisa. No ano passado, o número de pacientes utilizando radiofármacos foi superior a 2,3 milhões, em mais de 300 hospitais e clínicas em todo o país, com um crescimento anual da ordem de 10% nos últimos 10 anos.

Novos ciclotrons, que permitem a produção de radioisótopos para o uso de técnicas nucleares avançadas, foram instalados em São Paulo e no Rio de Janeiro – a CNEN irá instalar, nos próximos anos, ciclotrons em Belo Horizonte e Recife, para tornar disponível essa tecnologia à população dessas regiões.

A produção de radioisótopos por reatores também tem aumentado, graças à modernização dos equipamentos e da melhoria dos métodos de produção. Novas técnicas de combate ao câncer, com maior eficácia e menos efeitos colaterais, têm surgido, fazendo aumentar a procura pelos radiofármacos, de forma que a demanda sempre supera a produção brasileira.

O uso de técnicas com materiais radioativos na indústria tem aumentado com a modernização dos equipamentos importados e com a sofisticação das técnicas de controle de processos e de qualidade. A demanda por controle de qualidade leva a indústria a utilizar cada vez mais os processos de análise não destrutiva com radiações.

Na área de geração de energia, o Brasil é um dos poucos países do mundo a dominar todo o processo de fabricação de combustível para usinas nucleares. O processo de enriquecimento isotópico do urânio por ultracentrifugação, peça estratégica dentro do chamado ciclo do combustível nuclear, é totalmente de domínio brasileiro.

Hoje, o combustível utilizado nos reatores de pesquisa brasileiros pode ser totalmente produzido no país. Entretanto, comercialmente ainda fazemos a conversão e o enriquecimento no exterior. As reservas brasileiras de urânio já confirmadas são de 300 mil toneladas e estão entre as

seis maiores do mundo. Em termos energéticos, mesmo com apenas uma terça parte do país prospectado,

essas reservas são da mesma ordem de grandeza daquelas atualmente existentes em petróleo e seriam suficientes para manter em funcionamento 10 reatores equivalentes aos existentes – Angra 1 e Angra 2 – por cerca de 100 anos. O funcionamento dessas duas usinas foi importante no período de falta de energia no Brasil.

O Ministério da Ciência e Tecnologia coordenou um grupo de trabalho encarregado de rever o programa nuclear e formular planos de médio prazo. O grupo apresentou um plano realista para ser executado em 18 anos e que objetiva o fortalecimento de todas as atividades, inclusive a aquisição de novos reatores para chegar em 2022 com, pelo menos, a mesma participação nuclear (4%) na matriz energética brasileira. A proposta encontra-se em análise na presidência da República.

A segurança

A geração de eletricidade por reatores nucleares é uma das áreas tecnológicas que mais se preocupam com a segurança. Prova dessa segurança é que, entre todos os reatores em funcionamento, o único acidente com vítimas foi o de Chernobyl, onde as condições de segurança eram notadamente insipientes.

A segurança nuclear é constantemente aperfeiçoada, sendo fruto de um esforço internacional, com projetos e sistemas cada vez mais seguros e confiáveis, procurando reduzir as possibilidades de falhas e acidentes com conseqüências. Os novos aperfeiçoamentos são introduzidos nos reatores mais antigos, atualizando sempre a condição de segurança. A garantia de que as experiências e novas exigências sejam estendidas a todos os países é dada pelos acordos internacionais, geridos pela AIEA. Outros acordos, destacando-se o Tratado de Não-proliferação (TNP), garantem um amplo controle que inibe a proliferação das armas nucleares e que busca a redução dos arsenais existentes.

No Brasil, esse controle é responsabilidade da CNEN, que licencia e inspeciona as instalações que utilizam material nuclear em todas as áreas, inclusive instalações médicas e industriais, para garantir que esse uso seja feito dentro das mais modernas normas de segurança. Além disso, a CNEN credencia os profissionais responsáveis pela segurança, que, por lei, devem ter um vínculo formal ou fazer parte do corpo de funcionários da instalação.

Como já mencionado, toda tecnologia carrega algum risco, e acidentes podem acontecer, mas cabe à humanidade criar condições para que as vantagens superem de forma ampla e compensadora os riscos existentes. Isso é o que tem sido feito com a energia nuclear, cada vez mais segura e cada vez mais presente e indispensável em nosso cotidiano.

Atividade 6A: $E=mc^2$: O Sol

A questão de por que as estrelas brilham só foi levantada no século XIX quando a termodinâmica estava se desenvolvendo. Pela primeira vez as pessoas compreenderam que o calor e a luz emitido pelo Sol precisava ter uma fonte. Somente em 1938 os cientistas finalmente descobriram que a fonte dessa energia era a fusão nuclear.

Em meados de 1938, bem depois dos artigos publicados de Einstein sobre a relação massa e energia, Hans Bethe desenvolveu a teoria de como a fusão nuclear podia produzir a energia que faz as estrelas brilharem.

Hans Bethe tomou os melhores dados das reações nucleares existentes e mostrou, em detalhe, como quatro prótons poderiam ser unidos e transformados em um núcleo de hélio.

Hoje em dia, o valor aceito para a temperatura do núcleo do Sol é de 8 milhões de Kelvin. Com essa temperatura, como foi explicado por Bethe, é possível ocorre o ciclo próton-próton: $4H^1 \rightarrow He^4 + e^+ + \nu_e + \gamma$

Este ciclo é o dominante em estrelas cuja temperatura central é menor que 15 milhões de Kelvin (como o mencionado Sol). Inicialmente dois átomos de hidrogênio se fundem para formar um núcleo de deutério, um pósitron (e^+) e um neutrino (ν_e). O neutrino imediatamente escapa da

estrela, enquanto que o pósitron logo colide com um elétron e ambos são aniquilados, liberando energia.

Em seguida o núcleo de deutério se funde a um outro átomo de hidrogênio, para se transformar num isótopo de hélio com 2 prótons e 1 nêutron, liberando ainda energia na forma de fótons (γ).

Por fim, dois desses isótopos se fundem para formar um átomo de hélio e dois núcleos de hidrogênio. Sendo assim, um total de 6 núcleos de H estão envolvidos nas reações, mas apenas 4 delas são utilizadas para formar o hélio. Segue abaixo o que foi descrito em forma de reações.

1 – Quanto de massa o Sol perde?

Calcule a perda de massa do Sol por unidade de tempo, sabendo que o raio médio R da órbita da Terra é $1,5 \times 10^8 \text{ km}$ e a intensidade da radiação solar na Terra (a chamada constante solar) é $1,36 \times 10^3 \text{ W/m}^2$.

2 – Quanto tempo resta de vida para o Sol a partir da perda de sua massa?

Com o resultado da atividade anterior, calcule o tempo de vida do Sol, sabendo que a massa do Sol é de aproximadamente $2,0 \times 10^{30} \text{ kg}$.

3 – Quanto tempo resta de vida para o Sol a partir do ciclo próton-próton no seu núcleo?

A partir da reação: $4\text{ }^1_1\text{H} \rightarrow 2\text{ }^4_2\text{He} + 2e^+ + 2\nu_e + 2\gamma$, estime a idade do Sol, sabendo que $M_{\odot} = 2,0 \times 10^{30} \text{ kg}$, $L_{\odot} = 3,9 \times 10^{26} \text{ J/s}$, $m_{\text{H}} = 1,0324u$ e $m_{\text{He}} = 4,0039u$ (u = unidade de massa atômica = $1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$). Considere que no início da vida, o Sol era formado apenas de hidrogênio.

Observação: Essa reação só ocorre no núcleo do Sol. A massa contida no núcleo do Sol é aproximadamente 10% da massa total dela. Isto significa que, de toda massa do Sol, apenas 10% contribui para a geração de energia.

Atividades desenvolvidas ao longo da segunda etapa do curso

Atividade 1- Onde há energia nuclear? (encontra-se no anexo: Ativ. 1B: “Onde há energia nuclear?”)

Atividade 2- Energia nuclear: reconhecendo o tema através de linguagens diferentes.

São apresentadas aos alunos duas folhas, uma contendo uma série de imagens e outra com fragmentos de textos e notícias de jornal. Ambos apresentam situações relacionadas à energia nuclear e propõe-se aos alunos identificar o que há em comum entre as imagens e os textos e elaborar um texto próprio, em forma de notícia ou explicativo, utilizando uma das imagens apresentadas para ilustrá-lo e redigindo as legendas correspondentes.

A idéia dessa atividade é, de um lado possibilitar aos alunos um contato com o tema “Energia Nuclear”, identificando diferentes facetas ou aspectos envolvidos e organizando-os de algum modo, reconhecendo sua presença na mídia e, portanto, no mundo atual. E de outro lado, trabalhar com diferentes linguagens textos e imagens, propiciando o desenvolvimento de habilidades de leitura, compreensão de texto e redação em diferentes “estilos”.

Atividade 3- Energia do Sol

A proposta envolve duas etapas. Na primeira etapa, são apresentadas imagens diferentes que, de algum modo estão relacionadas à energia solar: painel solar em uma residência, calculadora solar, moinhos de vento, barragem de usina hidrelétrica, usina termoeletrica. Pede-se para identificar o que há em comum entre as imagens ou o que faz com que essas “coisas” possam funcionar. Nessa etapa a idéia é reconhecer a presença do Sol, ou de sua energia, nas diferentes situações apresentadas e de que maneira ela está relacionada, diretamente, no caso do painel ou calculadora solares e indiretamente, no caso das usinas hidrelétrica, termoeletrica e eólica. O nível de tratamento dessa questão pode variar, dependendo da turma, dos conhecimentos prévios dos alunos e do momento do curso do Ensino Médio em que ela foi inserida.

Em uma segunda etapa coloca-se a questão: “E de onde vem a energia do Sol?”. Aqui entramos mais propriamente em nosso tema e são propostas algumas aplicações numéricas para se obter a quantidade de energia solar que recebemos, testar a hipótese da combustão como origem dessa energia e estimar o tempo de vida do Sol. Para isso, introduz-se a idéia da relação massa-energia e de fusão nuclear.

Atividade 4- Debate: o uso da energia nuclear

Sabemos que o uso da energia nuclear é bastante polêmico, pois envolve aspectos positivos e negativos, tem benefícios e riscos. Essa polêmica, presente na imprensa, em programas de televisão, filmes, livros, envolve vários aspectos diferentes como políticos, econômicos, ambientais, sociais, culturais e científicos. Levá-la para a sala de aula, portanto, pode promover discussões e debates ricos e educativos. Mas como todo debate, precisa ser organizado, ter uma questão clara e um material de apoio, especialmente quando os aspectos envolvidos são diversificados e podem ser até mesmo desconhecidos para alguns alunos. No nosso caso, professores de física, ainda que tratemos de toda essa abrangência, podemos focalizar algumas questões de cunho científico ou conceitual, onde nossos conhecimentos podem contribuir para refletir, compreender, argumentar, assumir posições ou elaborar propostas diante da questão.

A atividade proposta aqui tem mais um caráter de exemplo de uma possível forma de conduzir uma discussão sobre o tema.

Utilizamos uma notícia de jornal sobre o uso da energia nuclear no Irã, que é polêmica no momento, e faz parte do cotidiano de alguns alunos. Uma vez que ela envolve, sobretudo aspectos políticos que certamente podem também serem debatidos. Nós focalizamos a discussão dessa questão para os aspectos relacionados aos conhecimentos de física, que podem contribuir para uma maior compreensão do problema. No caso, a questão em evidência (que pedimos para os alunos identificarem na notícia) é o enriquecimento do urânio. Colocamos, então, a questão: “O Irã estaria usando o urânio para construir uma bomba atômica?” E pedimos para que encontrem na notícia os elementos que poderiam argumentar pelo “sim” ou pelo “não” à questão.

Certamente não temos informações suficientes e não pretendemos chegar a uma resposta da questão. Mas a idéia é discutir qual a diferença entre usar o urânio para geração de energia elétrica ou para produção de bomba atômica. Para isso, fornecemos material que trata dessa questão do ponto de vista físico, em que são discutidos vários elementos como para que serve o “urânio”, como se produz energia a partir desse elemento, como funciona a bomba atômica e o reator nuclear, o que é urânio enriquecido, etc. Novamente, aqui, o nível de extensão e de aprofundamento do tema dependerá de cada turma.

ATIVIDADE -ENERGIA NUCLEAR: DEBATE

Nessa atividade o debate servirá como atividade problematizadora, suscitando a necessidade dos conhecimentos físicos sobre energia nuclear para ter uma posição crítica sobre assuntos presentes na mídia. O tema para o debate é a crise em torno do anuncio de que o Irã produzirá Urânio enriquecido.

Textos propostos:

1. O Estado de São Paulo, 13/04/2006, A14 - **Irã vai produzir 54 mil centrífugas.**
2. O Estado de São Paulo, 14/04/2006- **Ingresso no 'clube nuclear' é motivo de orgulho.**

Questão: : O Irã tem ou não o direito de produzir Urânio enriquecido?

Possíveis argumentos retirados dos textos

	Contra	A favor
Texto1	<i>"...a secretária americana de Estado, Condoleezza Rice, aumentava a pressão sobre o país, fazendo um chamado ao Conselho de Segurança da ONU para que se tomem medidas fortes contra p Irã."</i>	<i>"O Irã afirma operar apenas 164 centrífugas, que enriquecem o urânio a um nível de 3,5%-suficiente para gerar energia elétrica, mas não para produzir armas."</i>
	<i>"no dia 28, o Conselho aprovou um comunicado pedindo ao Irã que coopere com a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), outro órgão da ONU, suspendendo o programa de enriquecimento."</i>	<i>"Não ficou claro quando o governo pretende chegar às 54 mil centrífugas, mas foi repetido que eles fabricarão combustível nuclear para usinas nucleares de energia elétrica".</i>
	<i>"EUA, França e Grã-Bretanha- membros permanentes do Conselho- acreditam que o objetivo do país é produzir armas atômicas e não apenas atômicas e não apenas gerar energia elétrica, como declara."</i>	<i>" Peritos em Armas nucleares afirmam avaliam, porém, que o país levaria de 4 até 10 anos para isso" (tem uma bomba atômica)</i>
	<i>" China e Rússia mantém boas relações comerciais com o Teerã(...). Os dois países, contudo condenaram ontem o Irã."</i>	
	<i>"Ontem, o subsecretário americano para a não proliferação nuclear, Stephen Rademaker, estimou que em 15 meses o Irã poderia ter uma bomba atômica."</i>	
Texto 2	<i>Mortazavi acha que a vida vai melhorar por causa do domínio da tecnologia de energia nuclear ou da segurança maior para o país frente aos seus inimigos? ' pelas duas coisas' responde ele.</i>	<i>"É um programa pacífico, não é um bomba. Não somos conquistadores e não gostamos dos países que são."</i>
	<i>"A tecnologia nuclear ajudaria a proteger o país? Sem essa tecnologia o Irã já um país poderoso, pode se defender."</i>	<i>"Como teremos indústria sem energia?"</i>
	<i>" Se a Índia, o Paquistão e Israel podem ter armas atômicas, ,por que nós não podemos?"</i>	
	<i>" É uma energia perigosa, e não necessária. Há outras opções."</i>	

Esses argumentos apontam para a questão crucial na discussão. O Irã está enriquecendo urânio para fazer uma bomba ou para produzir energia elétrica? Cabe entender melhor as diferenças e semelhanças entre os processos de construção e a matéria prima necessária para construir uma bomba e um reator nuclear.

Explorando o Debate

A sala fica dividida em 2 grupos após todos lerem os dois textos. Um terá que defender que o Irã pode enriquecer urânio e outro que isso é perigoso. Deixar o debate acontecer, intervindo com perguntas que direcionem os alunos a atentar que é um elemento importante para que eles se posicionem é saber a diferença entre uma bomba e um reator.

Finalizando a discussão o professor propõe um estudo sobre as semelhanças e diferenças, tanto no combustível como no tipo das reações que ocorrem, no processo de construção de uma bomba e no processo de construção de um reator.

A seqüência pode ser a leitura de textos, (como os usados no curso, na parte de nuclear, escritos por nós) pode ser uma aula expositiva (sobre a fusão e seus mecanismos na bomba e no reator), ou uma pesquisa a ser proposta para os alunos.

Atividade 1B: Onde há energia nuclear?

Você está recebendo um conjunto de cartões com palavras e expressões correspondentes a “coisas” de nosso mundo: equipamentos, aparelhos, processos, conceitos, nomes, símbolos, procedimentos, fenômenos etc.

Separe-os em três blocos, utilizando o seguinte critério:

Esse “objeto” tem energia nuclear disponível?

Bloco1: SIM; Bloco 2: NÃO; Bloco 3: DEPENDE, TALVEZ, NÃO SEI...

ACELERADOR DE PARTICULAS	DATAÇÃO	RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA	MERCÚRIO
ALIMENTO IRRADIADO	DINAMITE	RÁDIO (elemento químico)	NÊUTRON
ALIMENTO TRANSGÊNICO	ELÉTRON	RADIOFÁRMACO	NICOTINA
APARELHO DE RAIOS-X	FERRO	RADIOISÓTOPOS	NÚCLEO ATÔMICO
APARELHO DE ULTRASOM	FLÚOR	RADIOTERAPIA	PARTÍCULA ALFA
AREIA MONAZÍTICA	GAMAGRAFIA	REATOR NUCLEAR	PILHA USADA
BOMBA DE HIDROGÊNIO	GOIÂNIA	TELEFONE CELULAR	PLUTÔNIO
CAMADA DE OZÔNIO	HIDROGÊNIO	TUMOR IRRADIADO	PÓLVORA
USINA DE ENERGIA ELÉTRICA	HIROXIMA	URÂNIO ENRIQUECIDO	QUIMIOTERAPIA
USINA HIDRELÉTRICA	IODO	MATERIAL HOSPITALAR	ATMOSFERA
USINA TERMOELÉTRICA	LIXO ATÔMICO	RADIAÇÃO GAMA	BISMUTO
RADIAÇÃO INFRAVERMELHA	CARBONO-14	BOMBA ATÔMICA	CONDENSADOR
GERADOR ELÉTRICO	CÉSIO-137	NÚCLEO DA TERRA	TURBINA
LÂMPADA FLUORESCENTE	CHERNOBYL	POLUENTES ATMOSFÉRICOS	URÂNIO
CONTROLE REMOTO	CHUVA ÁCIDA	COMBUSTÍVEL FÓSSIL	CLORO
ENERGIA ELÉTRICA	AGROTÓXICOS	POÇOS DE CALDAS	CO ₂
FONTE DE NÊUTRONS	RAIOS-X	MICROORGANISMOS	COBALTO
FORNO DE MICROONDAS	RELÂMPAGO	MONITOR DE COMPUTADOR	URÂNIO-235
MATERIAIS FOSFORESCENTES	SOL	RADIAÇÃO DE FUNDO	URÂNIO-238
TRAÇADORES RADIOATIVOS	TÓRIO	CONTADOR GEIGER	APARELHO DE TV

Atividade 2B: Gráfico Z x N

O que mantém os prótons e nêutrons coesos no núcleo?

Para investigar esse aspecto, é interessante analisar o gráfico de N (número de nêutrons) em função de Z (número de prótons) para todos os elementos. É o que propomos como atividade.

A partir de uma tabela periódica, selecione alguns elementos químicos e identifique seu número atômico (Z) e seu número de nêutrons (N), dado pela diferença (A – Z).

Número Atômico — 1 — 106794 — Pesc Atômico
 Símbolo Químico — H — Símbolo Químico
 Nome do Elemento — Hidrogênio — Nome do Elemento

1A (1)	2A (2)											3A (13)	4A (14)	5A (15)	6A (16)	7A (17)	8A (18)
H 1,00794 Hidrogênio	He 4,002602 Hélio											B 10,81 Boro	C 12,0107 Carbono	N 14,00643 Nitrogênio	O 15,9994 Oxigênio	F 18,998403 Flúor	Ne 20,1797 Neônio
Li 6,941 Lítio	Be 9,012182 Berílio	3E (3)	4E (4)	5E (5)	6E (6)	7E (7)	8E (8)	9E (9)	10E (10)	11E (11)	12E (12)	Al 26,981538 Alumínio	Si 28,0858 Silício	P 30,97376 Fósforo	S 32,06 Enxofre	Cl 35,4527 Cloro	Ar 39,948 Argônio
K 39,0983 Potássio	Ca 40,078 Cálcio	Sc 44,955912 Escândio	Ti 47,867 Titânio	V 50,9415 Vanádio	Cr 51,9961 Cromo	Mn 54,938 Manganês	Fe 55,845 Ferro	Co 58,9332 Cobalto	Ni 58,6934 Níquel	Cu 63,546 Cobre	Zn 65,39 Zinco	Ga 69,723 Gálio	Ge 72,61 Germano	As 74,9216 Arsênio	Se 78,96 Selênio	Br 79,904 Bromo	Kr 83,8 Criptônio
Rb 85,4678 Rubídio	Sr 87,62 Estrôncio	Y 88,90584 Ítrio	Zr 91,224 Zircônio	Nb 92,90638 Níbio	Mo 95,94 Molibdênio	Tc 98,9062 Técnetio	Ru 101,07 Ródio	Rh 101,07 Ródio	Pd 106,42 Paládio	Ag 107,8682 Prata	Cd 112,411 Cádmio	In 114,818 Índio	Sn 118,710 Estanho	Sb 121,757 Antimônio	Te 127,6 Telúrio	I 126,90447 Iodo	Xe 131,29 Xenônio
Cs 132,90545 Césio	Ba 137,327 Bário	La 138,90547 Lantânio	Hf 178,49 Háfnio	Ta 180,94788 Tântalo	W 183,84 Tungstênio	Re 186,207 Rênio	Os 190,23 Ósmio	Ir 192,222 Írídio	Pt 195,084 Platina	Au 196,966569 Ouro	Hg 200,59 Mercúrio	Tl 204,3833 Tálio	Pb 207,2 Chumbo	Bi 208,98039 Bismuto	Po 209 Polônio	At 210 Ástato	Rn 222 Radônio
Fr 223,0197 Frâncio	Ra 226,0254 Rádio	Ac 227 Actínio	Th 232,03772 Tório	Pa 231,03688 Protáctio	U 238,02891 Urânio	Np 237 Neptúlio	Pu 244 Plutônio	Am 243 Amélio	Cm 247 Cúrio	Bk 247 Berkelio	Cf 251 Califórnia	Es 252 Einsteinio	Fm 257 Férmio	Md 288 Mendelevio	Nb 289 Nobelio	Lr 262 Lawrencio	
		<div> <div>Hidrogênio</div> <div>Metais</div> <div>Semi-metais</div> <div>Não-metais</div> <div>Gases nobres</div> </div>															

Com esses dados, faça uma tabela com os valores de Z e N dos elementos químicos selecionados e construa o gráfico correspondente. Por exemplo:

Elemento	Z	A	N
¹ H	1	1	0
⁷ Li	3	7	4
...			
...			
⁸² Pb	82	207	125
⁹² U	92	238	146

O que se pode concluir a partir desse gráfico? (Interpretá-lo e discutir a “função” do nêutron dentro do núcleo e a questão da instabilidade de certos elementos)

Atividade 3B: “Quebra-cabeça” de uma usina nuclear

Obtendo energia elétrica: o reator nuclear

Existem vários tipos de reatores nucleares, porém todos eles precisam ter:

- o “caroço” de combustível nuclear
- moderador de nêutrons
- barras de controle e segurança
- um meio de remover o calor gerado pelas fissões

Na Atividade 3, distribuímos vários elementos recortados (como se fossem peças de um quebra-cabeça), que estão representados na figura abaixo fora de escala. E solicitamos que os professores “montassem” uma usina nuclear que funcionasse adequadamente. Escolhemos uma usina nuclear (também denominada termonuclear ou nucleoeletrica), com um reator do tipo PWR. Esse reator utiliza barras de urânio como combustível, água como moderador de nêutrons, barras de cádmio ou boro como controladores e água como meio de remover o calor gerado.

Turbina

Gerador

Rede elétrica

Atividade 4B: Calculando a energia liberada na fissão

Afinal, de onde vem a energia nuclear?

Para responder a essa questão, vamos examinar novamente uma reação de fissão do Urânio e fazer alguns cálculos simples.

A proposta dessa atividade é analisar o balanceamento das massas em uma das possíveis reações de fissão de um átomo de Urânio-235 e calcular a energia liberada na reação.

Qual a massa total dos constituintes antes da reação? E depois? Você espera que sejam iguais? Por quê? Qual a energia liberada?

Vamos, então, aos cálculos do balanceamento envolvido na reação de fissão apresentada. Nessa reação, quando um nêutron atinge um núcleo de ${}^{235}\text{U}$ ele sofre fissão, libera três nêutrons, representados por ${}_0^1n$ e uma quantidade de energia ΔE . A reação vale para cada átomo de ${}^{235}\text{U}$. Vamos comparar os dois lados da reação. Qual a massa antes? E depois?

$$m_{\text{nêutron}} = 1,0087u \quad m_{{}_{92}^{235}\text{U}} = 235,0439u \quad m_{{}_{92}^{92}\text{Kr}} = 91,8793u$$

Antes da reação:

$$\begin{array}{r} \text{massa do } {}^{235}\text{U} \quad 235,0439u \\ \text{massa do } n \quad 1,0087u \\ \hline 236,0526u \end{array}$$

Depois da reação:

$$\begin{array}{r} \text{massa do } {}^{141}\text{Ba} \quad 140,9139u \\ \text{massa do } {}^{92}\text{Kr} \quad 91,8793u \\ \text{massa dos 3 } n \quad 3,0261u \\ \hline 235,8773u \end{array}$$

Unidade de Massa Atômica: Costuma-se representar a massa atômica (ou isotópica) de um átomo, em u (unidade de massa atômica)

$$1\text{ u} = 1,660 \times 10^{-24}\text{g}$$

Observamos que houve uma diminuição da massa: $\Delta m = 0,2143u$

Para onde foi essa massa? Isso nos remete à relação **$E = mc^2$** !

Assim, o termo ΔE deve corresponder a $(\Delta m) \cdot c^2$

$\Delta E = \Delta mc^2$ E podemos obter o seu valor.

Atividade 5B: Trocando perguntas sobre problemas decorrentes do uso da Energia Nuclear

Por quê a polêmica?

Sabemos que a energia nuclear pode ser aproveitada e aplicada de muitas formas, em especial dando origem a transformações que geram enormes quantidades de energia elétrica (nas usinas) além de benefícios em vários setores sociais, como na medicina, indústria, agricultura, meio ambiente...

Então, onde estariam os problemas para seu uso ilimitado? Por que esse uso é polêmico? Vamos, então, procurar levantar quais são os problemas decorrentes do uso da energia nuclear e, para isso, propomos iniciar com a seguinte atividade.

Em duplas, formulem uma única pergunta que considerem relevante para avaliar, identificar e discutir os eventuais problemas relacionados ao uso da energia nuclear, ou seja, relacionados o seu lado nocivo. Após formuladas as perguntas, coloquem-na na “urna”. Em seguida, cada dupla sorteia uma pergunta formulada pela outra dupla e procura responder.

A partir dessas questões e das respostas apresentadas, o que concluem sobre os problemas da energia nuclear? Por que ela pode ser nociva? Do que isso depende?

É comum aparecer em revistas de divulgação científica e jornais perguntas, relacionadas ao tema da energia nuclear, formuladas por leitores. Seleccionamos algumas delas no box abaixo:

PERGUNTAS QUE APARECEM NA MÍDIA:

O que aconteceu em Chernobyl? Quais as possíveis conseqüências do acidente sobre a população das áreas próximas à usina? (Ciência Hoje, 1986)

Qual o método utilizado para produzir plutônio? (Folha de São Paulo, 1993)

Quem inventou a bomba atômica? Do que era feita e como foi acionada? (Galileu, 1998)

Como funciona uma usina nuclear? (Superinteressante, 1995)

Como funcionam abrigos antinucleares? (Superinteressante, 2001)

Por quê o Césio radioativo brilha? (Superinteressante, 1994)

Por quê as explosões nucleares tem a forma de cogumelo? (Superinteressante, 1998)

O que é o Césio-137? (Química nova, 1998)

É verdade que a radioatividade ambiental na região de Poços de Caldas é mais elevada do que no resto do país? Por quê? Isto representa algum risco para nós que aqui vivemos? (Ciência Hoje, 1983)

Quem é o combustível do Sol? (Superinteressante, 2000)

Até que ponto meus filhos estão e estarão expostos a radiação do césio-137? (morador de Goiânia, Ciência Hoje, 1988)

Há algum problema de radioatividade para quem usa o telefone celular? (Globo Ciência, 1994)

É verdade que, em caso de uma catástrofe nuclear, só as baratas sobreviveriam? (Folha de São Paulo, 1989)

Em relação a essas perguntas podemos discutir alguns aspectos como: Os tipos de perguntas que aparecem na mídia são parecidas com as que vocês fizeram? Quais as diferenças/semelhanças? E as possíveis explicações para essas diferenças/semelhanças? Vocês "saberiam" respondê-las? Quais dificuldades teriam? Por quê?

Atividade 6B: Energia nuclear na sala de aula

Depois desses três dias em que estamos discutindo a questão da Energia Nuclear, seria interessante um esforço coletivo para pensarmos de que maneira seria possível levar esse problema para a sala de aula.

A proposta dessa Atividade é que sejam elaborados, trabalhando e discutindo em duplas, um breve roteiro, para tratar esse assunto na sala de aula do Ensino Médio.

Para situar melhor o contexto da proposta, imagine que vocês tivessem 4 semanas com duas aulas (total 8 horas-aula) para desenvolver essa atividade.

Esse roteiro deve conter quais tópicos iriam abordar, de que maneira, o provável número de horas disponibilizadas para cada etapa, além de justificar suas escolhas (ou seja, a maneira pela qual decidiram trabalhar).

Modelo da ficha de avaliação individual do curso: Energia Nuclear, propostas para a sala de aula

1) Em relação ao tema central do curso, energia nuclear, quais dentre os vários aspectos, conhecimentos e situações que ela envolve poderiam ser selecionados para serem abordados nas aulas de Física do Ensino Médio?

2) De que forma o tratamento desse tema poderia ser interessante e motivador para os alunos? Que tipos de atividades de ensino ou estratégias, fariam com que os alunos se apropriassem do conhecimento, de como ele está presente no mundo de hoje?

3) O nosso curso tinha como proposta trazer o tema Energia Nuclear para o Ensino Médio. Escolhemos fazer isso centrando nossa discussão na idéia da produção de energia no reator nuclear e problematizando essa questão. Que outro tema da Física Moderna e Contemporânea você acha viável “levar” para o Ensino Médio? E quais assuntos ou aspectos corretados esse tema poderia abordar?

Sugestões, Críticas (ou outros comentários relativos ao curso que considere relevantes):

Propostas didáticas elaboradas pelos professores

Os professores prepararam propostas didáticas para a inserção do tema Energia Nuclear em sala de aula.

Exemplo: Proposta elaborada pelo professor PB:

“Mesmo que se compreenda que o significado de um conceito jamais será definido com precisão absoluta, alguns conceitos são parte integrante dos métodos da Ciência, pelo fato de representarem, pelo menos por algum tempo, o resultado final do desenvolvimento do pensamento humano desde um passado assaz remoto; eles podem mesmo ter sido herdados e são, qualquer que seja o caso, instrumentos indispensáveis na execução do trabalho científico em nosso tempo.”

Werner Heisenberg

Vou considerar a situação mais comum na Rede Estadual de Ensino, ou seja, 2 aulas semanais, desta forma pensei em um planejamento para 11 aulas, no mínimo.

Este curso poderá ser ministrado para qualquer das séries do Ensino Médio mas, será aconselhável que se faça um levantamento prévio dos conhecimentos dos alunos para um melhor planejamento e ênfase nos assuntos abordados.

ATIVIDADE	MOMENTOS	TEMPO
Filmes: "Acidente de Goiânia", "A descoberta da radioatividade"	Despertar o interesse pelo assunto energia nuclear	1 aula
Onde há energia nuclear?	Atividade de classificação de lugares, objetos, etc. nos quais temos a presença ou não da energia nuclear. Apresentação dos grupos explicando suas escolhas	2 aulas
Construção do gráfico $Z \times N$	Utilizando a tabela periódica, calcular o n° de nêutrons de alguns elementos e construir o gráfico.	1 aula
	Análise do gráfico. Tentar descobrir informações contidas nesta análise. De onde vem a energia nuclear?	1 aula
Aula expositiva	Isótopos, instabilidade, radioatividade, famílias radioativas, fissão e reação em cadeia. Como aproveitar a energia nuclear?	1 aula
"Quebra-cabeça" de uma usina nuclear.	Montagem do esquema de funcionamento de uma usina nuclear a partir dos elementos que a compõem.	1 aula
	Calculando a energia liberada na fissão. Energia de ligação.	
Trocando perguntas (avaliação)	Reunir a turma em duplas. Propor que elaborem perguntas sobre o uso da energia nuclear. Cada dupla sorteará uma pergunta para responder.	1 aula
Filme: "Energia Nuclear brasileira" e apresentação Powerpoint do Reator do IFUSP	O filme apresenta o assunto Energia Nuclear do ponto de vista da Nuclebrás. A Apresentação esclarece o funcionamento do reator	1 aula
Redação, tema: "Energia Nuclear, riscos e benefícios" (avaliação)	Esta atividade será elaborada juntamente com os professores de Português.	1 aula
Análise das Redações	Discussão dos pontos de vista dos estudantes a respeito do tema	1 aula

Considerações:

Os alunos têm poucas possibilidades de acesso a fontes de pesquisa.

Os alunos têm sérios problemas de pré-requisitos. São deficiências de leitura e entendimento de textos, noções de Álgebra Elementar, Potenciação, Ordens de Grandeza, n° decimais e unidades de medidas.

As condições de trabalho na Escola são inadequadas: falta de material didático, livros, revistas, computadores, apoio pedagógico.

Os alunos têm sérios problemas de auto-estima. Este é um problema que a Escola tem que enfrentar.

Temos sérios problemas de obedecer um calendário mínimo. Pelos motivos mais banais não se dá aula.

Professores desmotivados acabam tornando-se um obstáculo para o desenvolvimento do trabalho daqueles que têm algum estímulo.

Conclusão

Apesar de todos os problemas apresentados, vale a pena não nos acomodarmos. Uma das saídas para tornar o nosso país um lugar mais justo, onde se possa usufruir de uma qualidade de

vida melhor, sem dúvidas, será através da melhoria da qualidade do Ensino, sobretudo, o Ensino da Escola Pública.

Desta forma, é bastante alvissareiro o trabalho desenvolvido pelas professoras do IFUSP, na busca de novas possibilidades para o ensino de Física, atendendo, assim aos anseios dos professores da Rede Estadual de Ensino de São Paulo.

Frases elaboradas pelos professores que sintetiza o curso Energia Nuclear: Propostas para a sala de aula

- 1 O aspecto mais marcante neste curso, foi a troca, seja de conceitos, materiais, ou maneiras de trabalhar em sala de aula entre os professores
- 2 O aspecto que eu mais destacaria no curso é a interação entre a Escola Média e a Universidade.
Tanto os professores quanto os alunos da Escola Pública percebem a Universidade como uma instituição intangível, aliás, penso que isto acaba inibindo a participação de muitos professores neste tipo de atividade.
- 3 Poder dar aula de Física Nuclear.
- 4 + importante:
+ Foram as atividades sugeridas pelos "orientadores", o superar as inseguranças da qualidade das aulas, que apresentaram várias atividades diferentes e a possibilidade de desenvolver material o professor/aluno.
- 5 O aspecto mais marcante o curso de introdução a física nuclear, foi a vivência e a visualização dos materiais radioativos (césio 137 e a visita ao IPEN).

Mapas elaborados pelos professores no curso Energia Nuclear: Propostas para a sala de aula

Dois exemplos: