



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO  
CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

*André Puy Leonel*

**NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA: UMA PROPOSTA  
DE ILHA INTERDISCIPLINAR DE RACIONALIDADE PARA  
O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO  
ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada como requisito Parcial  
à obtenção do grau de Mestre, pelo programa  
de Pós-graduação em Educação Científica e  
Tecnológica da Universidade Federal de Santa  
Catarina.

*Prof. Dr. Carlos Alberto Souza*  
Orientador

**Florianópolis (SC)**  
**2010**

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária da  
Universidade Federal de Santa Catarina

L583m Leonel, André Ary

Nanociência e nanotecnologia [dissertação] : uma proposta de ilha interdisciplinar de racionalidade para o ensino de física moderna e contemporânea no ensino médio / André Ary Leonel ; orientador, Carlos Alberto Souza. - Florianópolis, SC, 2010.

215 p.: il., tabs, +; CD de apoio

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica.

Inclui referências

1. Educação científica e tecnológica. 2. Física moderna. 3. Física contemporânea. 4. Ensino de segundo grau. 5. Nanociência. 6. Nanotecnologia. 7. Ilha interdisciplinar de racionalidade. 8. Etapa zero. I. Souza, Carlos Alberto. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. III. Título.

CDU 37



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
CURSO DE MESTRADO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

**“NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA: UMA PROPOSTA DE ILHA  
INTERDISCIPLINAR DE RACIONALIDADE PARA O ENSINO DE FÍSICA  
MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO”**

Dissertação submetida ao Colegiado  
do Curso de Mestrado em Educação  
Científica e Tecnológica em  
cumprimento parcial para a  
obtenção do título de Mestre em  
Educação Científica e Tecnológica

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 19/02/2010

Dr. Carlos Alberto Souza (Orientador)

Dr<sup>a</sup>. Solange Binotto Fagan (Examinador)

Dr. José de Pinho Alves Filho (Examinador)

Dr. Frederico Firmo de Souza Cruz (Suplente)

Dr<sup>a</sup>. Suzani Cassiani de Souza  
Coordenadora do PPGECT

André Ary Leonel

Florianópolis, Santa Catarina, fevereiro de 2010.

Aos meus pais Ari (in memoriam) e Maria pelo exemplo de vida, educação, amor, confiança e carinho.

## AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus pela saúde, coragem, fé e esperança concebida a cada dia. A minha mãe, aos meus irmãos e irmãs, pelo apoio, incentivo e compreensão nos momentos de ausência. Aos sobrinhos e sobrinhas pelos momentos de descontração e relaxamento.

Aos amigos do “Barreirão”, do Colégio Salvatoriano Nossa Senhora de Fátima, da Igreja do Navio, do PPGECT e àqueles que, no momento de desânimo e desespero, conseguiram dar apoio e incentivo, em especial o Jackson, o Vandeco, a Anelise, a Michele, a Juceliane, a Evanete, a Karine e a nossa querida secretária Bethy, pela sua disposição e carinho.

Agradeço ao professor, orientador e amigo Carlos Alberto Souza, pelo acompanhamento, incentivo e autonomia desenvolvida durante a realização deste trabalho.

Agradeço aos professores do programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica e do Departamento de Física que, de uma forma ou de outra, contribuíram com a realização deste trabalho. Especialmente ao tio Pinho pelas conversas de corredores e “puxões de orelha”. Também agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro.

E por último, mas não com menor importância, agradeço aos alunos que foram, desde o início, base de motivação e inspiração para o presente trabalho. Sou muito grato pela existência de todas as pessoas com quem convivi nesses quase três anos e, se no presente momento esqueci alguém, ficam minhas desculpas e o meu mais sincero agradecimento.

A todos um muito obrigado!



## RESUMO

Discutimos a introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio por meio de uma Ilha Interdisciplinar de Racionalidade, um modelo proposto por Fourez para representar situações cotidianas. Como estratégia de pesquisa, adotamos o tema “Nanociência e Nanotecnologia” para elaborar nossa Ilha e elencamos tópicos relacionados com esse tema que poderão potencializar o processo de ensino-aprendizagem desta Física. Apresentamos uma análise detalhada da situação problema adotada e das etapas que compõem a Ilha, com enfoque na etapa zero. Etapa esta dedicada ao planejamento da Ilha, levando em consideração os caminhos a serem trilhados durante sua aplicação, tanto pelos professores quanto pelos alunos, bem como os recursos que poderão ser utilizados. Esta pesquisa caracteriza-se como qualitativa com enfoque na análise de conteúdo.

Palavras-chave: Física Moderna e Contemporânea; Ensino Médio; Nanociência e Nanotecnologia; Ilha Interdisciplinar de Racionalidade; Etapa Zero.





## ABSTRACT

We discuss the introduction of Modern and Contemporary Physics in the high school through an Interdisciplinary Rationality Island, a model proposed by Fourez to represent everyday situations. As a research strategy, we adopted the theme "Nanoscience and Nanotechnology" to prepare our Island and listed topics related to this topic that may enhance the process of teaching and learning of physics. We present a detailed analysis of the problem and taken steps that make up the island, mainly from stage zero. Dedicated to the planning stage of the island, taking into account the ways to track during its implementation, both by teachers or the students and the resources that could be used during each step. This research is characterized as focusing on qualitative analysis of content.

Keywords: Modern and Contemporary Physics, High school; Nanoscience and Nanotechnology; Interdisciplinary Rationality Island, Step Zero.



**LISTA DE TABELAS**

Tabela I – Itens do último capítulo do livro de Física de Francisco Alcântara Gomes Filho .....	68
Tabela II – Atitudes e modos de ação do professor mediador .....	103



**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura I – Posicionamento de 35 átomos de xenônio .....	54
Figura II – Cálice de Licurgo .....	56
Figura III – Vitrais da Catedral de Carlisle .....	57
Figura IV – Organização das disciplinas .....	120



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACT – Alfabetização Científica e Técnica;  
CEPEMA – Centro de Capacitação e Pesquisa em Meio-Ambiente;  
CNE – Conselho Nacional de Educação;  
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico;  
FMC – Física Moderna e Contemporânea;  
IR – Ilha de Racionalidade;  
IBM – International Business Machines;  
IRR – Ilha Interdisciplinar de Racionalidade;  
LDB – Lei de Diretrizes e Base;  
MEC – Ministério da Educação;  
PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais;  
PCN+ – Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio;  
PCNEM – Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio;  
PNLEM – Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio;  
PPGECT – Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica;  
Renanosoma – Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente;  
SBF – Sociedade Brasileira de Física;  
Sepex – Semana de Pesquisa e Extensão;  
SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física;  
SPM – Scanning Probe Microscopy (Microscópio de Varredura por Sonda);  
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina;  
UNESCO – United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura).





**LISTA DE SÍMBOLOS**

$a$  – Aceleração;

$c$  – Velocidade da luz no vácuo;

$dp$  – Derivada temporal total do momento linear ou quantidade de movimento;

$dt$  – Intervalo de tempo;

$E$  – Energia;

$F$  – Força;

$m$  – massa;

$\Delta E$  – Quantum de energia;

$h$  – Constante de Planck;

$f$  – Freqüência;

$W$  – Função trabalho de metal;

$p$  – Momento linear;

$\lambda$  – Comprimento de onda de de Broglie



## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	05
RESUMO .....	07
ABSTRACT .....	09
LISTA DE TABELAS .....	11
LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	13
LISTA DE ABREVIATURAS .....	15
LISTA DE SÍMBOLOS .....	17
SUMÁRIO .....	19
INTRODUÇÃO .....	21
CAPÍTULO I .....	27
1 ORGANIZANDO A PESQUISA .....	27
1.1 Breve Memorial .....	27
1.2 A trajetória em direção ao problema .....	28
1.3 Metodologia da Pesquisa .....	30
1.4 Estruturação da Pesquisa .....	32
1.5 Escolha do Tema .....	33
1.6 Análise do Tema Escolhido .....	34
CAPÍTULO II .....	43
2 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA .....	43
2.1 Origens da Física Moderna .....	43
2.1.1 Nanociência e Nanotecnologia .....	53
2.2 Por um Ensino de Física Moderna e Contemporânea .....	65
2.2.1 Do Ensino de Física Moderna e Contemporânea para a Alfabetização Científica e Técnica: Um caminho possível.....	75
CAPÍTULO III .....	79
3. ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E TÉCNICA E AS ILHAS INTERDISCIPLINARES DE RACIONALIDADE .....	79
3.1 Alfabetização Científica e Técnica .....	79
3.1.1 Os objetivos da Alfabetização Científica e Técnica .....	81
3.2 As Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade .....	87
3.2.1 Tipos de Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade .....	89
3.2.2 As etapas das Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade .....	90
3.2.2.1 A etapa zero .....	96
3.3 Uma questão de Interdisciplinaridade .....	98
3.4 A negociação .....	101
3.4.1 A Avaliação: Uma proposta .....	105

CAPÍTULO IV .....	109
4. EM DIREÇÃO A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E TÉCNICA .....	109
4.1 Uma Ilha de Racionalidade para o Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio .....	109
4.2 Etapa Zero: Pensando nas possibilidades, traçando alguns caminhos .....	109
4.2.1 A situação Problema .....	111
4.2.1.1 Os Elementos da Situação Problema .....	112
4.2.2 A elaboração do Plano .....	116
4.2.2.1 A variável tempo .....	117
4.2.2.2 Organização dos conteúdos e das Caixas pretas .....	118
4.2.2.3 Seleção dos recursos .....	122
4.2.2.4 Participação dos professores nas etapas da IIR.....	126
4.2.2.5 Participação dos alunos nas etapas da IIR .....	129
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	131
REFERÊNCIAS .....	135
ANEXOS .....	143
1. Questionários .....	144
1.1 Questionário Seminário .....	145
1.2 Questionário SEPEX .....	147
2. Análise Quantitativa dos Questionários .....	149
2.1 Análise do questionário do Seminário .....	150
2.2 Análise do questionário da SEPEX .....	152
3. Comentário sobre os artigos .....	154
3.1 Comentários dos artigos sobre Nano .....	155
3.2 Comentários dos artigos sobre FMC .....	163
4. Tradução de Palestra de Richard Feynman .....	169
5. Carta aos alunos .....	187
6. Sugestões de questões para a prova .....	189
7. Material de Apoio .....	213

## INTRODUÇÃO

A Física, enquanto matéria de estudo, tem passado por várias modificações desde sua implantação no Ensino Médio (ANGOTTI e DELIZOICOV, 1982). Mudanças que vão desde a abordagem até o desenvolvimento dos seus conteúdos específicos, visando sempre a uma melhor compreensão e leitura dos fenômenos estudados, da disciplina propriamente dita e melhorias no processo de ensino-aprendizagem. Mesmo assim, percebe-se o desinteresse de muitos alunos pelo estudo desta Física que é abordada na sala de aula. Seja pelas dificuldades encontradas, seja por não perceberem alguma utilidade nesse aprendizado.

No que diz respeito ao ensino de Física, em muitas instituições e por muitos educadores, ela ainda é ministrada de forma linear, única, o conteúdo é apresentado como produto final, pronto, correto e confiável, não oportunizando ao educando a discussão, a reflexão, o questionamento e, em consequência, a construção do seu próprio conhecimento. Além disso, o cientista é visto como um ser perfeito, que vive isolado de toda a sociedade, e a Ciência – uma verdade absoluta dentro de uma estrutura já acabada. Segundo Kuhn (1975), esse desenvolvimento linear gradual da Ciência e da Física, em especial, não corresponde à verdade histórica. Assumindo-se o conhecimento da Física como a-histórico, nega-se qualquer tentativa de inseri-lo em um contexto de construção, em que a estrutura atualmente aceita das teorias seja fruto de um processo lento de maturação e adequação aos fenômenos naturais estudados.

Diante dessa situação, deparamo-nos com alunos que apresentam inúmeras dificuldades de aprendizagem, pois não conseguem apreender os conceitos físicos trabalhados na sala de aula e ainda menos aplicá-los no seu dia-a-dia. Em consequência, mostram-se desinteressados, desmotivados e apáticos ao processo pedagógico, assimilando passivamente, quando possível, o que é proposto pelo professor.

Particularmente, em se tratando dos conteúdos tradicionalmente abordados em sala de aula, acreditamos que já não são suficientes para responder às questões trazidas pelos alunos, uma vez que eles têm acesso direto a muitos aparelhos e artefatos tecnologicamente avançados e são constantemente bombardeados por questões exploradas na ficção científica, que poderiam potencializar o interesse pela Física. Entretanto, estas questões não são levadas em consideração pelos professores, que,

limitados aos conceitos clássicos, não chegam aos tópicos contemporâneos. De acordo com Terrazan (1992, 1994), é preciso transformar o ensino de Física tradicionalmente oferecido nas escolas, limitado ao conhecimento físico construído até o início do século XX, em um ensino que contemple o desenvolvimento da Física Moderna e Contemporânea (FMC). Esta responde a várias questões e situações do mundo atual que são de interesse dos alunos e que a Física Clássica não explica. Com isso, poderíamos despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próximo dos alunos do que eles mesmos imaginam.

De acordo com a revisão da literatura sobre a linha de pesquisa “Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”, feita por Ostermann e Moreira (2000), as preocupações com o Ensino de FMC no exterior, assim como as primeiras pesquisas, seguem desde o final da década de setenta e mais especificamente aqui no Brasil, desde o início da década de noventa. Apesar disso, observamos que a realidade do ensino de Física, na maioria das escolas, não mudou muito, e continua atual a necessidade de atualizar o currículo de Física. O que permanece justificando o grande número de pesquisas nesta área.

A tendência desta atualização justifica-se pela influência crescente dos conteúdos contemporâneos para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como a necessidade de formar um cidadão consciente e participativo que atue nesse mesmo mundo. (TERRAZAN, 1992,1994).

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM), as Ciências Naturais e a Física em particular, enquanto áreas de conhecimento construídas, possuem uma história e uma estrutura que, uma vez apreendidas, permitem uma compreensão da natureza e dos processos tecnológicos que permeiam a sociedade. Qualquer cidadão que detenha um mínimo de conhecimento científico pode ter condições de utilizá-lo para as suas interpretações de situações de relevância social, reais e concretas, bem como aplicá-lo nessas e em outras situações. Estes concebem que:

Incorporado à cultura e integrado como instrumento tecnológico, esse conhecimento tornou-se indispensável à formação da cidadania contemporânea. Espera-se que o ensino de Física, na

escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humana. É necessário também que essa cultura em Física inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos, técnicos ou tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional. (PCNEM, 2000, p. 22).

Essa necessidade de tornar os conteúdos científicos escolares dotados de significado, de torná-lo útil para a vida do aluno, bem como de discutir o papel das ciências e das tecnologias na sociedade contemporânea, tornou-se questão das mais importantes no cenário educacional nos últimos anos (PINHEIRO, 2000). É nessa perspectiva que Fourez et al (1997) propõem a construção de uma *Ilha Interdisciplinar de Racionalidade (IIR)*, na busca de uma “*Alfabetização Científica e Técnica (ACT)*”, como sendo uma estratégia pedagógica e epistemológica para lidar com o ensino, capaz de cruzar saberes oriundos de várias disciplinas e conhecimentos da vida cotidiana, criando uma modelização apropriada para representar uma dada situação. O autor considera que a ACT é definida por um contexto no qual os saberes científicos procuram gerar alguma autonomia, possibilitando que o aprendiz tenha capacidade para negociar suas decisões, alguma capacidade de comunicação e algum domínio e responsabilidade face às situações concretas. Assim, a elaboração de modelos interdisciplinares para representar as situações cotidianas pode ser uma solução para os problemas encontrados no ensino de ciências.

Ao se construir uma IIR surgirão questões específicas ligadas a conhecimentos determinados, que poderão ou não ser respondidas, conforme a orientação dos participantes. O domínio desconhecido ao qual estas questões estão relacionadas é denominado “*caixas pretas*”. A decisão de abrir ou não estas caixas, ou seja, de aprofundar ou não determinado conhecimento, cabe à equipe executora, que pode ser constituída por profissionais de uma empresa, um grupo de professores de uma escola, grupo de alunos e professores ou um indivíduo. Para o desenvolvimento dessa metodologia das IIR em sala de aula, cria-se um contexto problemático, em que os estudantes são tomados como

membros de uma equipe executora de projetos. Dentro desta perspectiva o papel do professor precisa sofrer uma mudança, ele não pode ser apenas transmissor do conhecimento, muito menos ter exclusividade nesse processo.

Neste trabalho, analisamos a elaboração de uma IIR para viabilizar o Ensino de FMC no Ensino Médio, pensando em situações que podem ocorrer em cada etapa. Para elaborar nossa situação-problema, tivemos inspiração na Nanociência e Nanotecnologia – área que vem se intensificando numa revolução científica e tecnológica de enorme abrangência e impacto, trazendo várias implicações e complexidades. Além disso, está em pleno avanço e traz consigo perguntas até há pouco impensáveis, cujas respostas, apesar de surgirem paulatinamente, ainda inexistem por completo e exigem um caráter interdisciplinar.

Nosso trabalho foi dividido em quatro capítulos. No primeiro, apresentamos o caminho percorrido até chegarmos ao problema e aos motivos que nos levaram a realizar esta pesquisa. Apresentamos os objetivos a serem alcançados e conceituamos as modalidades técnicas e os métodos utilizados. Além disso, apresentamos a Nanociência e Nanotecnologia, explicitando os motivos que nos levaram a optar por este tema.

No capítulo seguinte, faremos uma breve abordagem histórica da FMC, bem como da Nanociência e da Nanotecnologia. Também apresentaremos um panorama do Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio nos últimos anos no Brasil e analisaremos as contribuições desse Ensino para a ACT.

No terceiro capítulo, discutiremos o conceito de ACT proposto por Fourez. Partimos da concepção de Ciência adotado por este autor, destacando os objetivos que tal noção visa a proporcionar, bem como algumas competências que o indivíduo deve ter para ser considerado alfabetizado científica e tecnicamente. Também apresentamos a metodologia das IIR, incluindo as etapas sugeridas por Fourez para a construção de uma IIR acerca de uma noção, de um projeto ou de uma tecnologia e discutimos questões relacionadas com a interdisciplinaridade, a negociação e a avaliação.

Finalmente, no quarto capítulo, desenvolvemos a análise da pesquisa. Apresentamos a IIR elaborada ao longo desta pesquisa, analisamos cada etapa e discutimos questões relacionadas à participação dos professores e dos alunos na aplicação desta, com os conteúdos de



FMC que poderão ser trabalhados, com a ACT e com os recursos que poderão ser utilizados.



## CAPÍTULO I

### 1. ORGANIZANDO A PESQUISA

Nesse capítulo, apresentamos o caminho percorrido até chegarmos ao nosso problema e aos motivos que nos levaram a realizar esta pesquisa. Apresentamos os objetivos a serem alcançados e conceituamos as modalidades técnicas e métodos presentes em nosso trabalho. Além disso, faremos uma breve apresentação da Nanociência e Nanotecnologia, tema inspirador para construção de nossa IIR justificando nossa escolha a partir de uma breve discussão e análise.

#### **1.1 Breve Memorial**

Iniciei no magistério em 2000, lecionando Matemática, um ano antes de ingressar no curso de Licenciatura em Física na Universidade Federal de Santa Catarina. Na época, bastava o interesse em lecionar, pois a falta de professores para essa disciplina, bem como para as ciências naturais e exatas era grande, com a diferença de que quem tinha interesse em lecionar, bastava ter o Ensino Médio completo e fazer a inscrição para trabalhar na rede estadual e ser contratado por meio de admissão por caráter temporário de um ano em qualquer disciplina. Atualmente só pode fazer a inscrição e conseqüentemente lecionar quem já está cursando a licenciatura ou algum curso universitário, relacionado com alguma disciplina do Ensino Fundamental ou Médio.

Com relação a essa questão, vale lembrar que, de acordo com um estudo de 2003, realizado pelo Instituto Nacional de Estudo e Pesquisas Educacionais (Inep/MEC) em algumas disciplinas, como Física e Química, é crítica a situação em relação à escassez de professores. Segundo o estudo, há uma necessidade de 23,5 mil professores de Física apenas para o Ensino Médio e, nos últimos 12 anos, houve, apenas, 7,2 mil licenciados para essa cadeira. Além disso, nos próximos anos, a demanda por professores de Física poderá ser ainda maior.

Já em 2007, o Conselho Nacional de Educação (CNE/MEC) elaborou um documento alertando para o “apagão” do Ensino Médio. Os números são alarmantes, em algumas disciplinas o número de professores formados, em dez anos, representa apenas a metade do número necessário para cobrir a demanda nacional. O maior déficit, de acordo com o estudo, está nas áreas de física, química, biologia e matemática. O trabalho estima que são necessários 55 mil professores de

física, mas aponta que as licenciaturas da área só formaram 7.216 entre 1990 e 2001.

Minha escolha pela matemática se deu pelo fato de ter feito Escola Técnica<sup>1</sup> e ter tido quatro anos de matemática, o que fez com que ficasse numa classificação razoável para quem não estava na Universidade e não tinha experiência alguma como professor.

De repente, estava eu lá, no meio de uma sala de aula, ensinando matemática para quarenta e dois alunos, todos com mais idade do que eu. Essa foi uma experiência inesquecível e decisiva na escolha da minha profissão, já que tinha muita vontade em tornar-me professor, mas tinha muito medo de não gostar da profissão, de não me adaptar, de não ser reconhecido profissionalmente, das condições de trabalho, entre outros. Embora tivesse gostado muito de ensinar matemática, já tinha decidido que esse não seria o curso que faria na universidade, pois considerava muito abstrata. Queria fazer um curso que tivesse muito cálculo, mas também tivesse leituras, fornecesse ferramentas, possibilitando um melhor entendimento do mundo ao meu redor e ajudando-me a pensar e entender as questões do cotidiano. Esses questionamentos me levaram a optar pelo curso de licenciatura em Física.

## 1.2 A trajetória em direção ao problema

Durante o curso de licenciatura, sempre comparava a forma com a qual estava apreendendo Física, com a que tinha apreendido no ensino médio e ainda como trabalhava com meus alunos. Esforçava-me para ser o professor que desejei ter no ensino médio. Porém, passei quase todo o curso sem encontrar o que procurava; que era entender melhor o mundo e tudo que acontecia em minha volta, utilizando os conhecimentos adquiridos nas aulas de Física da graduação, pois estes eram apresentados de uma forma muito desconecta da realidade.

Apenas quando comecei a fazer as disciplinas de Instrumentação para o Ensino de Física, foi que se iniciou um processo de relacionar a Física, até então apreendida, com situações e fenômenos que acontecem em nossa volta. Mas o que me intrigou muito foi quando começamos a estudar tópicos da FMC. Ficava admirado por nunca ter

---

<sup>1</sup> Conclui o curso Técnico em Refrigeração e Ar Condicionado na Unidade Descentralizada de São José da Escola Técnica Federal de Santa Catarina em 1998, hoje Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, campus São José. Por influência de um professor passei a gostar de matemática. O que não ocorreu nas aulas de Física.

ouvido falar sobre essa parte da Física durante todo o Ensino Médio e principalmente pelo fato de explicar vários eventos que estavam muito próximos de mim e de meus alunos. Sentia uma vontade enorme de chegar à sala de aula e começar a abordar esses tópicos com meus alunos, mas me sentia incapaz, seja pelo fato de ser um professor admitido por caráter temporário e ter que seguir os passos dos professores efetivos com mais tempo na escola, seja por não ter, ainda, plena segurança para isso.

Em 2004, concluí a licenciatura e ainda não sabia quando e como deveria inserir novos conteúdos no Ensino Médio. Várias vezes citava alguns tópicos relacionados com a FMC em sala de aula, apenas de caráter informativo, enquanto minha intenção era abordar esses tópicos para contribuir efetivamente na formação dos alunos. Tal inquietação me inspirou a elaborar um projeto para participar do processo de ingresso no mestrado do Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica (PPGECT) também da UFSC.

Em princípio, meu projeto tinha como propósito elaborar uma seqüência didática para o Ensino da FMC, mas depois de estudar a concepção de Educação Científica e Técnica de Fourez (1997), bem como sua proposta para o Ensino de Ciências pela segunda vez<sup>2</sup>; agora em uma disciplina do mestrado denominada de Didática das Ciências; optei por pesquisar a viabilidade do Ensino da FMC no Ensino Médio por meio de uma IIR.

A partir dessas inquietações, formulei o seguinte problema: Como a metodologia da Ilha Interdisciplinar de Racionalidade viabiliza o ensino-aprendizagem da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio?

Partindo desse questionamento, no que corresponde ao que Pietrocola et al (2003) chamam de etapa zero<sup>3</sup>, que deve ser o primeiro passo para realização de uma IIR, começamos a pensar numa situação-problema motivadora, abrangente, adaptada ao tempo disponível e ao contexto da classe e que, principalmente, envolvesse conteúdos relacionados com a FMC. De acordo com esses autores, nesta etapa, também se prevê o tipo de produto a ser obtido com a IIR, porque a forma como a resposta deve ser oferecida ao final do trabalho auxilia a

---

<sup>2</sup> Estudei Fourez pela primeira vez em uma disciplina da licenciatura em Física chamada de Instrumentação para o Ensino de Física A, na qual elaboramos uma Ilha de Racionalidade para instalar uma rádio em uma escola.

<sup>3</sup> Essa etapa foi sistematizada por Shmitz (2004) em sua dissertação de mestrado intitulada “Desafio Docente: As Ilhas de Racionalidade e seus Elementos Interdisciplinares”.

tomada de decisões do grupo, ao longo do projeto, evitando desvios ou discussões desnecessárias.

No que diz respeito à situação-problema, adotamos a Nanociência e Nanotecnologia como tema inspirador, o que será justificado ainda neste capítulo no item 1.5 e 1.6. Já o tempo disponível para a aplicação da IIR e a série em que ela será aplicada dependerá principalmente dos professores que a aplicarão e de outras questões que serão discutidas no capítulo 4, no qual também discutiremos questões relacionadas com o produto a ser obtido, com a participação dos professores e alunos e com os recursos que poderão ser utilizados durante a aplicação da IIR elaborada.

Nossa pesquisa foi organizada de modo a atingir o seguinte objetivo geral:

- Analisar a viabilidade do Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio por meio de uma Ilha Interdisciplinar de Racionalidade.

Nesse objetivo, inserem-se alguns objetivos específicos, que se tornaram significativos no próprio corpo da pesquisa, tais como:

- Elaborar uma proposta de IIR que viabilize o Ensino de FMC no Ensino Médio;
- Estruturar a etapa zero, apontando caminhos que poderão ser seguido pelos professores e alunos durante uma aplicação da IIR elaborada;
- Analisar a potencialidade do tema Nanociência e Nanotecnologia para a elaboração de uma IIR;
- Organizar materiais paradidáticos que poderão auxiliar os professores e alunos durante a aplicação da IIR elaborada.

### **1.3 Metodologia da Pesquisa**

De acordo com esses objetivos, julgamos ser pertinente adotar um método sob a ótica da pesquisa qualitativa, mais precisamente com enfoque no método da análise de conteúdo.

Principalmente quando realizamos a análise dos documentos e livros relevantes para a questão pesquisada e dos questionários aplicados<sup>4</sup>, percebemos estar diante de objetivos distintos que requeriam

---

<sup>4</sup> Foram aplicados dois questionários. O primeiro após seminário apresentado aos alunos da terceira série do Ensino Médio e outro durante a apresentação de um mini curso na 7ª Semana de Ensino Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Santa Catarina.

uma técnica própria e que, ao mesmo tempo, não se apresentasse como um modelo pronto, que pudesse ser reinventada por meio de um vai-e-vem contínuo, sendo o método da análise de conteúdo o mais apropriado.

Bardin (1979) resume o terreno, o funcionamento e o objetivo da análise de conteúdo ao explicitar que o termo análise de conteúdo é:

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos, sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens (BARDIN, 1979, p.42).

Para a autora, a análise de conteúdo começa, geralmente, por uma “leitura flutuante”<sup>5</sup> (BARDIN, 1979, p.75) na qual podem ser formuladas as primeiras hipóteses. Por meio dessa leitura são estabelecidas idas e vindas entre o documento analisado e as suas próprias anotações, guiando o pesquisador na busca das informações contidas no texto e dando sentido a estas informações.

Bardin (1979, p. 95) divide, metodologicamente, o desenvolvimento da análise de conteúdo em três momentos fundamentais:

- a) a pré-análise;
- b) a exploração do material;
- c) o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação.

O primeiro momento consiste na escolha do material a ser pesquisado, na formulação das hipóteses, na determinação dos indicadores que definirão as regras de recorte de categorização e codificação e no ensaio das técnicas de análise. O segundo momento consiste na administração das técnicas definidas no primeiro momento, sobre o material a ser pesquisado, e o terceiro e último momento consiste nas operações estatísticas, na síntese e seleção dos resultados e nas inferências e interpretação dos mesmos.

Neste trabalho, os elementos de análise advêm de dois questionários, de algumas atividades desenvolvidas com uma turma de licenciatura em Física<sup>6</sup> e principalmente da imersão em textos e

---

<sup>5</sup> A autora chama essa fase de leitura flutuante por analogia com a atitude do psicanalista. De forma que, pouco a pouco, a leitura vai se tornando mais precisa.

<sup>6</sup> As atividades foram desenvolvidas durante um estágio de docência realizado pelo pesquisador na disciplina de Metodologia e Prática de Ensino de Física – MEN 5185, do curso

reflexões acerca da metodologia e das etapas da IIR. Foram aplicados dois questionários. O primeiro foi aplicado após apresentação de um seminário elaborado para alunos da terceira série do Ensino Médio e o segundo foi aplicado durante um minicurso ministrado durante a 7ª Semana de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Santa Catarina<sup>7</sup> (Sepex). Ambos foram apresentados pelo pesquisador e tiveram como finalidade servir de instrumento para análise da potencialidade do tema “Nanociência e Nanotecnologia” para a construção da IIR e conseqüentemente para o ensino da Física Moderna e Contemporânea. No tópico 1.6 apresentaremos mais detalhes sobre os seminários.

Durante as apresentações dos seminários e atividades realizadas junto à turma de licenciatura em Física, adotamos a observação participante. Mesmo sabendo das dificuldades na objetividade desse tipo de observação e que, em certas circunstâncias, há mais vantagens no anonimato (MARCONI e LAKATOS, 1990) acreditamos que nossa participação e pretensão com esse momento da pesquisa exigiu esse tipo de observação. Além disso, acreditamos que podemos ganhar a confiança dos alunos e fazê-los compreenderem a importância da investigação, sem ocultar o seu objetivo ou sua missão.

Também observamos, em alguns aspectos passíveis de quantificação, o uso da pesquisa quantitativa, principalmente no momento em que fazíamos uma “leitura flutuante” dos questionários.

## 1.4 Estruturação da Pesquisa

Para alcançarmos os objetivos supracitados, nossa pesquisa foi estruturada em quatro momentos. O primeiro consistiu na formulação do problema, como já apresentada e geralmente ocorre nas pesquisas, decorreu de um longo processo de reflexão e de imersão em fontes bibliográficas adequadas. De acordo com Gil (2002), essa etapa carece

---

de Licenciatura em Física da UFSC sob a supervisão do Prof. Ms. Vinicius Jacques no segundo semestre de 2008. Mais detalhes sobre estas atividades serão apresentados no próximo tópico e no capítulo quatro.

<sup>7</sup> A 7ª Sepex aconteceu em outubro de 2008, durante a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia. Trata-se de uma das principais vitrines da UFSC para divulgar os trabalhos realizados nas diferentes áreas de pesquisa. Como nos anos anteriores o evento abriu espaço para minicursos, oferecidos gratuitamente à comunidade, por professores, servidores técnicos-administrativos e estudantes da UFSC.



de muito cuidado, pois consiste em garantir que o problema formulado seja passível de verificação por meio da metodologia adotada.

O segundo momento, o que exigiu mais atenção e empenho, foi destinado à elaboração da etapa zero. Nessa etapa é feito o planejamento da IIR propriamente dito. Segundo Schmitz (2004), ela consiste em determinar os objetivos, selecionar e organizar os conteúdos e procedimentos de ensino, seleção dos recursos utilizados, seleção de procedimentos de avaliação e estruturação do plano de ensino. Para Pietrocola et al (2003), é nessa etapa também que se prevê o tipo de produto a ser obtido no projeto. Ele pode ser um texto explicativo, uma "cartilha", lista de prescrições, etc. Para os autores, a forma como a resposta deve ser oferecida ao final do trabalho auxilia a tomada de decisões do grupo ao longo do exercício, evitando desvios ou discussões inútuas.

Embora faça parte da etapa zero, consideramos a escolha do tema e da situação-problema para a IIR como o terceiro momento da nossa pesquisa. No próximo tópico, detalharemos o tema. A situação-problema será apresentada no capítulo quatro.

Finalmente, no quarto momento, fizemos a análise dos dados e da pesquisa em geral. Analisamos cada etapa da IIR elaborada e levantamos alguns direcionamentos que poderiam ser tomados pelos professores e também pelos alunos, analisando cada um deles. Procuramos apresentar com muita clareza cada passo que pode ser dado ao aplicar a IIR e oferecer subsídios para que qualquer professor que tenha interesse em introduzir a FMC por meio de uma IIR ou conhecer mais sobre a metodologia da IIR encontre para isso suporte neste trabalho.

Como já foi comentado, alguns de nossos dados foram coletados durante um seminário elaborado para os alunos da terceira Série do Ensino Médio do Centro Educacional Municipal Professora Maria Iracema Martins de Andrade (conhecido por muitos como Barreirão) do município de São José, durante a apresentação do minicurso na 7ª Sepex e durante a realização de um estágio de docência em uma turma de licenciatura em Física, via observação participante e por meio de questionários.

## **1.5 Escolha do Tema**

Em 2005, instituído pela UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) como Ano Mundial

da Física em comemoração ao centenário da publicação dos trabalhos de Einstein sobre o fóton, a relatividade especial, a relação massa-energia e o movimento browniano, a Sociedade Brasileira de Física (SBF) lançou um conjunto de livros relacionados com esse tema e com o desenvolvimento atual da Física. Desses, dois nos chamaram muita atenção e, conseqüentemente, a leitura. São eles: “PENSANDO O FUTURO: o desenvolvimento da Física e sua inserção na vida social e econômica do país” e “APLICAÇÕES DA FÍSICA QUÂNTICA: do Transistor à Nanotecnologia”.

O primeiro tem o objetivo de fazer um balanço do estado das pesquisas nos assuntos mais relevantes em Física, no Brasil e no mundo.

No capítulo 3, intitulado: “Desafios Multidisciplinares e Física Aplicada a Problemas Brasileiros”, é feita uma abordagem de temas de interesses dos Físicos, os quais, inclusive, têm recebido uma contribuição significativa destes, mas que não fazem parte propriamente dessa disciplina. Segundo a SBF (2005), muitos problemas relacionados com esses temas têm uma relação bastante palpável com o cotidiano das pessoas e um tema que nos chamou bastante atenção foi: Nanociência e Nanotecnologia. Então, desde a leitura do livro, em 2005, temos nos interessado e pesquisado esse tema.

Já, no segundo, são introduzidos – além de conceitos subjacentes a diversos dispositivos básicos para a tecnologia atual, incluindo o transistor e o laser – também a Nanociência e Nanotecnologia, como novas áreas em rápida expansão e que exploram as enormes possibilidades do universo atômico, com implicações em campos tão diversos como nanoeletrônica, biotecnologia e nanodispositivos.

Pela abrangência dessa tecnologia, por suas aplicações e implicações, por trazer perguntas até pouco tempo impensáveis, cujas respostas estão vindo paulatinamente ou ainda inexistem e por ser um tema que exige um caráter interdisciplinar, optamos por elaborar nossa IIR utilizando a Nanociência e a Nanotecnologia como pano de fundo para ensinar tópicos da FMC no Ensino Médio, em consonância com as orientações curriculares para o Ensino Médio (2008, p. 56), as quais afirmam ser esse um tema relevante que merece atenção.

## **1.6 Análise do Tema Escolhido**

Para melhor analisar a potencialidade do tema: “Nanociência e Nanotecnologia” para a introdução da FMC no Ensino Médio e

consequentemente para o desenvolvimento da nossa Ilha foi organizado: a) seminário intitulado: “Nanotecnologia: sua ciência, tecnologia e implicações sociais” para alunos da terceira série do Ensino Médio da rede municipal de São José; b) minicurso intitulado “Nanotecnologia: sua ciência e implicações sociais”; c) atividades práticas, envolvendo este tema, em uma turma de licenciatura em Física.

Além de introduzir tópicos da FMC, o seminário e o minicurso abarcavam questões relacionadas com a História da Ciência, com o fazer ciência e com as vantagens, desvantagens e implicações sociais do tema trabalhado. Durante o seminário e o minicurso, utilizamos vídeos com documentários e entrevistas com cientistas que trabalham com a Nanociência e Nanotecnologia (Acessar no CD de apoio, no anexo sete o link “Seminários”).

Escolhemos o Centro Educacional Municipal Professora Maria Iracema de Andrade, o Barreirão, apenas pela afinidade que tínhamos com os diretores e professores. Inicialmente foi conversado com a direção e com os professores do Barreirão com o objetivo de organizar um horário especial para o dia da apresentação do seminário, pois ele foi pensado e elaborado para ser apresentado durante as quatro últimas aulas do turno noturno. O seminário poderia ser apresentado para qualquer série; foi a diretora da escola e os professores que optaram pela terceira série, pelo simples fato da turma estar concluindo o ensino médio, não tendo tempo para outras oportunidades, ao contrário dos alunos da 1ª série e 2ª série que terão mais tempo na escola. Havia duas turmas de 3ª série, as quais participaram juntas do seminário no auditório da escola.

Foi conversado com os professores que solicitassem aos alunos, uma semana antes da apresentação do seminário, uma busca sobre Nanociência e Nanotecnologia, sugerindo que anotassem suas dúvidas e curiosidades a respeito do tema para serem trabalhadas no dia do seminário, pois um dos objetivos era criar um ambiente onde os questionamentos e o debate fosse acontecendo ao longo da apresentação.

Como já foi comentado, o minicurso<sup>8</sup> foi elaborado para a 7ª Sepex e teve uma duração de quatro horas. Além da obtenção de dados

---

<sup>8</sup> A elaboração e apresentação do minicurso contou com a participação de Vanderlei André Cima, professor de Física do Ensino Médio, também pesquisa sobre o tema “Nanociência e Nanotecnologia” e em 2007 defendeu sua dissertação de mestrado apresentando resultados de uma discussão fomentada com professores de Física acerca das dificuldades encontradas para tratar assuntos relacionados com Ciência e Tecnologia contemporâneas no ciclo final da educação básica.

para a análise do tema, o minicurso tinha o objetivo de apresentar uma proposta interdisciplinar para abordagem de tópicos da Ciência contemporânea em sala de aula do Ensino Médio por meio da Nanociência e Nanotecnologia e visava a despertar o interesse dos professores de Ciências e encorajá-los a tratar assuntos como este em

sala de aula e mostrar que a Física do século XX e XXI constitui um corpo de conhecimentos bem estruturado e apresenta explicações para alguns fenômenos que acontecem no mundo atômico e nanométrico.

Professores do Ensino Médio, principalmente de Física, Biologia e Química, pela maior afinidade com o tema, eram nosso público alvo, além dos graduandos em Licenciatura, principalmente em Física, Química e Biologia, e público geral interessados pelo assunto. Como não tivemos tempo, e também não era nosso interesse fazer um perfil mais detalhado dos participantes, apenas sabemos que, com exceção de dois, que estavam concluindo a licenciatura em Química e um em Física, todos já tinham concluído o terceiro grau e a maioria já atuava como educador. Consideramos, para efeito de análise dos dados, que todos já haviam passado pela universidade e independente da área de formação e/ou atuação já receberam uma formação científica e, comparados com os alunos do ensino médio, possuem melhores condições de analisar o tema e responder ao questionário com um olhar de quem se preocupa com a formação e o futuro dos estudantes.

Tanto no seminário como no minicurso, abordamos aspectos relevantes para o ensino de Física, buscando alternativas pedagógicas que pudessem auxiliar numa maior compreensão e integração dessa área do conhecimento com a realidade cotidiana do aluno, seus interesses e necessidades, pensando na necessidade de se rever o papel do professor como mediador no processo de ensino-aprendizagem e na construção do conhecimento. Partindo da perspectiva de que ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua produção ou a sua construção (FREIRE, 1996); também concebemos que o educando deixasse de ser um mero receptor de informações, tornando-se um sujeito participante do processo pedagógico.

Nosso principal instrumento de pesquisa, nesse momento, foram dois questionários (ver anexo 1), elaborados para que os alunos respondessem após o seminário e os participantes do minicurso no final deste. Uma análise quantitativa dos questionários encontra-se no anexo dois.

Como pode ser visto no anexo 2.1, dos trinta e cinco alunos que responderam ao questionário, dezoito já tinham ouvido falar sobre o tema. Sendo que o veículo que mais proporcionou esse contato foi a TV. Apenas quatro alunos acreditam que o conhecimento da Física é suficiente para abordar as questões relacionadas com a Nanociência e a Nanotecnologia, os demais acreditam que deve haver um trabalho interdisciplinar, sendo que as disciplinas mais indicadas para trabalhar essas questões foram: Química, Biologia e Matemática.

No que diz respeito à FMC, bem como à Física Quântica, vinte e dois alunos já tinham alguma informação sobre esse assunto, algumas cientificamente corretas; outras, não. Como podemos ver em algumas das respostas, com exceção do aluno A21, os alunos possuem e/ou ficaram com muito interesse por essa parte da Física:

“Muito chata e complexa demais para as cabeças inúteis que existem no momento, não entendem as suas necessidades.” (A21, seminário, 2008)

“Traz-me melhor entendimento sobre o que utilizo em meu dia-a-dia, com vários aplicativos.” (A4, seminário, 2008)

“São temas muito interessantes. Mas até hoje não me interessei muito, porém agora vou procurar me informar melhor sobre estes temas que realmente são bem importantes para o desenvolvimento da humanidade.” (A2, seminário, 2008)

“Muito legal, devemos estudar esta matéria.” (A10, seminário, 2008)

“Acho meio interessante e ao mesmo tempo complicado.” (A16, seminário, 2008)

“Eu gosto e utilizo o que filtrei do filme “O Segredo” e acho que é uma coisa que se deve estudar mais.” (A1, seminário, 2008)

Podemos perceber que o aluno A21 não estava muito interessado pelo seminário. É um aluno que precisaria de um acompanhamento especial, no sentido de perceber seus interesses e encontrar uma forma de motivá-lo. O que é aceitável e possível durante o ano letivo, mas impossível durante o pouco tempo que tivemos contato, e como a maioria deles não se identificou não conseguimos analisar melhor essa situação. Entretanto, dos 35 alunos que participaram do seminário, apenas um fez um comentário assim, o que nos permite inferir que realmente o tema interessou.

A resposta do aluno A1 nos preocupou bastante, pois esse aluno poderia concluir o Ensino Médio achando que entende de Física

Quântica, simplesmente por ter assistido o filme “O Segredo”<sup>9</sup> e assim como este vários têm essa concepção. Acreditamos que um dos objetivos de se trabalhar a FMC no Ensino Médio é desmistificar esta parte da Física, evitando tipos de charlatanismo como esse.

Todos os alunos responderam que é muito importante e interessante abordar, no ensino de ciências, questões relacionadas com as vantagens e desvantagens de uma determinada tecnologia, bem como questões políticas e éticas. Principalmente sobre o papel da ciência e da tecnologia na sociedade; seja para deixá-los “alertas” ao uso de alguma tecnologia, para ajudá-los na escolha por algum produto tecnológico, para entender melhor o que acontece no mundo em que vivem, para o exercício da cidadania ou simplesmente porque faz parte do dia-a-dia. A maioria deles acha muito importante que estas questões sejam abordadas em sala de aula, pois para alguns a sala de aula é a única fonte de informação, como nos relata o aluno A18:

“Muito interessante saber na sala de aula, pois eu não tenho outro meio de saber.” (seminário, 2008)

De um modo geral, criticam o fato de atualmente a população passar a responsabilidade relacionada ao uso da ciência e principalmente das tecnologias apenas para o cientista. O que faz com que um número muito pequeno de pessoas decida pelo futuro de muitos. Alegam que a sociedade deve ser instruída para não aceitar passivamente tudo aquilo que é apresentado como sendo cientificamente provado, que traz uma promessa de “transformação de vida” ou que é transformado numa “necessidade” para uma vida melhor.

Já no anexo 2.2, pode-se observar que dos dez participantes que responderam ao questionário, nove já tiveram algum contato com o tema do minicurso, sendo que o veículo que mais proporcionou esse contato foi a internet. A maioria (90%) dos participantes acredita que a Física é insuficiente para estudar as questões relacionadas com a Nanociência e a Nanotecnologia, sendo a Biologia, a química, a matemática e a sociologia as disciplinas mais apontadas para contribuir com o estudo dessas questões.

---

<sup>9</sup> Filme que explica a Lei da atração pela Física Quântica. Que de acordo com a autora Rhonda Byrne (2005) é a capacidade que temos de com nossos pensamentos e nossas emoções, criar a realidade em que vivemos. Então, dependendo do que pensamos e sentimos, podemos atrair coisas boas ou nem tão boas assim. Segundo Byrne (2005), a lei da atração responde a qualquer vibração que você emita, seja ela positiva ou negativa, dando-lhe mais dessa mesma coisa. Ela simplesmente responde às suas vibrações.

Um de nossos objetivos, pela escolha do tema, é trazer também para o aluno a responsabilidade pelo uso das tecnologias, fazendo com que ele entenda o papel da ciência e da tecnologia na sociedade e as relações existentes entre elas. Para isso, consideramos importante perguntar aos participantes se eles acreditam que o ensino das Ciências Naturais e Exatas deve incluir discussões sobre essas questões. Podemos observar que todos acreditam que sim. Segundo os participantes, essas discussões tornam o educando mais presente nos debates sobre temas atuais por acreditarem que o maior meio de divulgação de informação para a maioria dos estudantes ainda é a escola. Mas um dos participantes apontou uma preocupação que deve ser de todos os educadores:

Em parte sim, mas não podemos deixar de lado os conhecimentos tradicionais<sup>10</sup>, pois pouco adianta, ter um conhecimento forte em determinada área, se não tivermos bases boas (S4, Sepex, 2008).

Em outras palavras, essas discussões acerca do uso da ciência e da tecnologia na sociedade e suas implicações, entre outros objetivos, devem servir, principalmente, para justificar o aprendizado de algum conhecimento científico, isso não quer dizer que vamos deixar de ensinar a Física para tratar dessas questões, isso deve acontecer concomitantemente.

Apenas quatro participantes estudaram algum tópico relacionado com a FMC no Ensino Médio e todos acreditam que o ensino de Física do Ensino Médio deve contemplar essa Física. Com relação a essa questão, perguntamos se o ensino de Física do Ensino Médio deveria contemplar essa nova Física e consideramos relevante apontar as seguintes respostas dos participantes:

“Como a ciência vêm se transformando, é interessante que os novos conhecimentos cheguem ao ensino independente da área” (S1, Sepex, 2008).

Podemos observar a preocupação deste educador com a atualização do currículo escolar não só o de Física, mas de todas as disciplinas.

Como podemos ver, abaixo, um dos participantes defende a Física Clássica como pré-requisito para o ensino da FMC:

---

<sup>10</sup> Acreditamos que este participante esteja se referindo ao conhecimento da Física propriamente dito, diferenciando do conhecimento relacionado diretamente com as tecnologias, suas aplicações e implicações à sociedade e ao meio ambiente.

“Por parte sim, mas antes de ter estas bases atuais da Física, o aluno deve saber a Física Clássica” (S4, Sepex, 2008).

No próximo capítulo, discutiremos essa questão, que atualmente vem gerando bastante discussão. Por ora, lembramos do tempo destinado ao ensino de Física no Ensino Médio e acreditamos ser impossível ensinar toda Física Clássica para depois a FMC. Também abordaremos algumas possibilidades estudadas para vencer essas barreiras. O que é pacífico é que a FMC, mesmo com o tempo limitado, deve ser incluída no currículo do Ensino Médio. Como acredita o educador abaixo:

“(…) apesar de pouco tempo para cumprir-se o programa de ensino, sempre podemos incluir temas modernos de modo complementar” (S6, Sepex, 2008).

Muitos dos participantes defendem o ensino de FMC por acreditarem que ela faz parte do cotidiano do aluno. Então para que ele entenda alguns fenômenos e alguns equipamentos tecnológicos é indispensável o estudo da FMC. Como podemos ver na resposta abaixo:

“Sim, porque, cada vez mais, ela faz parte do nosso cotidiano e é necessário conhecimento para fazer uso consciente destes recursos” (S5, Sepex, 2008).

Além do minicurso e do seminário, fizemos algumas atividades com os alunos de licenciatura em Física durante a realização de um estágio de docência. Num primeiro momento, foi apresentada a idéia desta pesquisa e, em seguida, os licenciandos, após leitura, desenvolveram algumas atividades sugeridas no artigo “Nanociência de baixo custo em casa e na escola”<sup>11</sup> de Peter A.B. Schulz (acessar o link “Artigos Nano” e em seguida “Artigo 13” no CD de apoio). Observando a realização destas atividades pelos licenciandos e ouvindo seus comentários, podemos inferir que realmente o tema analisado pode ser um grande motivador e, sem sombra de dúvida, poderá viabilizar o ensino da FMC. Os licenciandos também apontaram alguns tópicos de FMC que poderiam ser abordados em sala de aula pela Nanociência e Nanotecnologia, o que será utilizado na elaboração da etapa zero, ver capítulo quatro.

---

<sup>11</sup> Apresenta um conjunto de atividades e experimentos simples que permitem uma aproximação ao mundo da nanociência para estudantes do Ensino Médio, provando que embora a nanotecnologia seja sofisticada, a nanociência é também divertida e seus conceitos podem ser abordados na escola ou em casa com a ajuda de materiais simples como régua, lápis, bacias, palha de aço e jogos infantis.



Esta análise mostra que o tema Nanociência e Nanotecnologia pode realmente potencializar o Ensino de FMC. Para isso, o professor deve pensar nas questões, na metodologia utilizada, bem como no objetivo com essa abordagem. A clareza sobre essas questões favorecerá o bom uso dos materiais que se encontram na internet acerca deste tema e permitirá estruturar uma proposta que contemple os tópicos da FMC que se desejam abordar. Os tópicos que poderão ser explorados e os materiais utilizados, bem como as aplicações da Nanociência e Nanotecnologia abordadas na IIR, serão discutidos na etapa zero no capítulo quatro.



## CAPÍTULO II

### 2. FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Neste capítulo, abordamos as questões teóricas relacionadas com a FMC, mais especificamente relacionadas com a Nanociência e a Nanotecnologia, sem a pretensão de fazer uma análise mais profunda da história da ciência, nem abordar todas as *revoluções científicas e rupturas* que aconteceram na área até chegar à Física Moderna. Isso foge do nosso objetivo. Apresentamos apenas uma síntese dos principais acontecimentos e ideias que levaram à construção dessa parte mais atual da Física. Revisamos e selecionamos alguns artigos que auxiliarão o professor numa leitura mais aprofundada, bem como promover, caso queira, uma abordagem mais detalhada em sala de aula, durante alguma etapa da IIR, sobre a história da FMC, os quais serão organizados na etapa zero, no capítulo quatro, assim como o conteúdo de FMC que poderá ser abordado durante aplicação da IIR. Além disso, pretendemos contextualizar o Ensino de FMC no Ensino Médio no Brasil, bem como apontar as implicações e a importância desse ensino para chegar à ACT.

#### 2.1 Origens da Física Moderna

Na segunda metade do século XIX, grandes avanços ocorreram em vários ramos da Física. Acreditava-se que todos os fenômenos da natureza observados até então, poderiam ser explicados pelas teorias que tinham como bases sólidas as ideias e contribuições de basicamente dois grandes homens, o inglês Isaac Newton<sup>12</sup> e o escocês James Clerk

---

<sup>12</sup> Newton nasceu em 25 de dezembro de 1642, ano que coincidentemente morria o italiano Galileu Galilei, em uma cidade chamada Woolsthorpe na Inglaterra. É possível encontrar em alguns livros a informação de que seu nascimento aconteceu em 4 de janeiro de 1643, data do calendário Gregoriano que só foi adotado na Inglaterra por volta de 1752. Bacharelou-se pela Universidade de Cambridge em 1665, ano que retornaria para sua cidade natal fugindo da Grande Peste que assolava a Europa. O dois ano que se seguiram foram os mais férteis na vida do Físico. Tornou-se membro da Royal Society em 1672. Ainda em 1672, publicou seu primeiro trabalho científico sobre luz e cor, no *Philosophical Transactions of the Royal Society*. Desenvolveu o Cálculo diferencial e Integral, fez importantes estudos de ótica, e começou sua Teoria da Gravitação Universal. Em 1687 publicou sua obra mais importante, o *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, que teve duas edições posteriores, em 1713 e 1726. Em 1703 foi eleito presidente da Sociedade real, e foi re-eleito a cada ano até sua morte. Foi agraciado com o título de cavaleiro (*Sir*) em 1708 pela Rainha Anne, o primeiro cientista a receber esta honra. Morreu em 31 de março de 1727 em Londres, Inglaterra.

Maxwell<sup>13</sup>. Juntas elas formam os pilares do que hoje denominamos de Física Clássica.

Newton unificou as leis da mecânica, que descrevem o movimento de objetos sob a ação de forças que sobre ele atuam. A ideia de que na ausência de forças ou com força resultante igual a zero, o corpo ficará em repouso ou permanecerá em movimento uniforme, conhecida como a Primeira Lei de Newton, foi apresentada explicitamente em 1687, nos *Principia Mathematica*, assim como a Segunda Lei, que declara que a mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida e ocorre na mesma direção desta força. Matematicamente:

$$F = dp/dt$$

Em que F é a força, “dp” corresponde à derivada temporal total do momento linear ou quantidade de movimento e “dt” o intervalo de tempo considerado. Assim, uma força aplicada em um corpo provocará nele uma variação na sua velocidade numa taxa diretamente proporcional à força aplicada. Tradicionalmente, interpretado matematicamente como:

$$F = m.a$$

Em que “m” é a massa do corpo e “a” é a aceleração provocada pela força aplicada. Vale lembrar que esta equação é válida apenas para situações em que a massa é constante.

Já a Terceira Lei afirma que para toda ação existe sempre uma reação igual em módulo, em direção e em sentido contrário. Além disso, com a segunda lei, Newton explicou o movimento dos corpos celestes, enunciando a Lei da Gravitação Universal, que afirma que os corpos se atraem com uma força diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa. Esse foi “o maior feito e talvez a maior conquista intelectual já

---

<sup>13</sup> Maxwell nasceu no dia 13 de junho de 1831, em Edimburgo, capital da Escócia. Já na juventude revelava boas aptidões para a ciência. Ingressou na universidade em sua cidade natal em 1847, terminando sua graduação em 1854. Seus trabalhos mais importantes sobre a Teoria Cinética dos Gases e Eletromagnetismo foram desenvolvidos durante os anos de 1860 e 1865, período em que esteve no Kings College, em Londres. Em 1871 ele inventou o conceito de Demônio de Maxwell, para demonstrar que a segunda lei da termodinâmica, que diz que a entropia nunca decresce, tem um caráter estatístico. Ano que aceita dirigir o novo Laboratório Cavendish, em Cambridge, onde pode dar continuidade aos seus trabalhos sobre o eletromagnetismo. Em 1873 ele publicou o *Tratado sobre Electricidade e Magnetismo*, livro que continha todas as suas ideias sobre este tema e que condensa todo o trabalho que foi fazendo ao longo dos anos. Ele estava preparando uma revisão abrangente deste tratado com as suas novas descobertas neste tema quando a morreu prematuramente em 1879.

alcançada por um só homem, explicar o movimento de corpos celestes e colocá-los na mesma “categoria” dos fenômenos que acontecem aqui na terra” (OLIVEIRA, 2007, p. 16). “Newton reconheceu que os movimentos de pedras caindo, da Lua e dos planetas, são apenas manifestações muito especiais de uma força universal de gravitação que atua em dois corpos quaisquer” (EINSTEIN e INFELD, 1976, p. 35).

Mesmo indo contra as suas concepções, as leis de Newton não privilegiavam um determinado referencial, ou seja, o movimento dos corpos depende do referencial adotado. Assim, um corpo que se move com uma velocidade de 10m/s em relação a um referencial A pode estar em repouso em relação a um referencial B, que se movimenta com essa mesma velocidade e no mesmo sentido, ou com uma velocidade de 20m/s em relação a um referencial C, que se move com a mesma velocidade, porém em sentido oposto. Sendo o tempo igual em qualquer um dos referenciais, desde que os observadores estivessem munidos de relógios em perfeito funcionamento.

Em 1865 Maxwell conseguiu unificar as teorias parciais que, até então, vinham sendo utilizadas para descrever as forças da eletricidade e do magnetismo. Ele demonstrou matematicamente que estas forças, elétricas e magnéticas, não se originam das partículas agindo diretamente uma sobre a outra, mas por meio do campo gerado por cada uma, constatando que um mesmo campo transporta as forças elétricas e magnéticas; sendo eletricidade e magnetismo aspectos inseparáveis da mesma força, a qual denominou de força eletromagnética e ao campo de campo eletromagnético. Suas equações previram características semelhantes a ondas no campo eletromagnético e que essas ondas se propagariam com uma velocidade fixa como uma onda em um lago. Ao calcular essa velocidade constatou que coincidia exatamente com a velocidade da luz (aproximadamente  $3 \times 10^8$  m/s).

Entretanto, as idéias de Maxwell não estavam em consonância com as de Newton. Como vimos anteriormente, de acordo com as Leis de Newton, se a luz viaja a uma velocidade de  $3 \times 10^8$  m/s em relação a terra e um carro se afasta dela com uma velocidade qualquer, sua velocidade em relação ao carro será maior do que esse valor. Já para a eletrodinâmica de Maxwell, isso não é possível, uma vez que a luz é uma onda eletromagnética, e assim como as outras ondas eletromagnéticas viajam a uma velocidade fixa, independente do referencial. Dessa forma, a sensação de se ter chegado ao fim das pesquisas em Física – pelo fato de não haver mais nada para ser “descoberto” e explicado –, que já não era sentida por todos os

cientistas, não durou muito. Problemas fundamentais existiam e estavam principalmente relacionados a questões bem mais gerais, que viriam a ser os alvos principais dos trabalhos revolucionários de Einstein<sup>14</sup> em 1905<sup>15</sup> (MEDEIROS, 2007, p. 280). Segundo esse autor, os problemas centrais existentes na Física no final do século XIX diziam respeito à natureza e à propagação das ondas eletromagnéticas, à distribuição de energia transportada pela radiação do corpo negro, à luminescência, à variação dos calores específicos atômicos, ao mistério do efeito fotoelétrico, à interação das ondas eletromagnéticas com a matéria, à estrutura da matéria e ainda à polêmica sobre a variação dos valores dos pesos atômicos.

---

<sup>14</sup> Einstein nasceu em 14 de março, de 1879 em Ulm, no estado de Wurttemberg, no sul da Alemanha. Primeiro filho de Pauline e Hermann Einstein, um pequeno comerciante que nunca obteve muito sucesso em seus empreendimentos, o que fez a família trocar de cidade algumas vezes. Fez seu primeiro grau em uma escola pública católica, sendo o único judeu da classe. Seu interesse pela física começou após contato com obras de divulgação científica, física e filosofia apresentadas por um amigo da família, em 1889. Em 1895, com dois anos a menos que a idade regular prevista, falhou ao tentar ingressar, na Escola Politécnica de Zurique. Porém, seus conhecimentos de matemática e ciências impressionam a banca examinadora. Ingressa na escola cantonal de Argóvia, para terminar o segundo grau e consegue ingressar na Escola Politécnica de Zurique no ano seguinte, onde conhece Mileva Maric, com quem se casaria em 1903. Recebe o grau de professor de matemática, da Politécnica de Zurique, em 1900, com a menor média entre os quatro alunos que se formaram, não conseguindo uma vaga para se tornar assistente da escola. No final deste ano, envia para a revista *Annalen der Physik*, seu primeiro trabalho científico, “Deduções sobre o fenômeno da capilaridade”. Em 1903 começa trabalhar, como técnico de 3ª classe, no escritório de Patentes Suíço, em Berna. Ali, naquele lugar, durante as horas vagas, produziria o trabalho que iria mudar toda a concepção de toda a física. Os anos seguintes, se deram em meio a uma época de guerras, perseguições e revoluções políticas e científicas. Sempre se esforçou em favor da paz. Em 1952, recusou o convite para ser presidente de Israel por se considerar ingênuo demais em questões políticas. Morre em 18 de abril, de 1955, devido ao agravamento do quadro causado pelo rompimento de um aneurisma, no Hospital de Princeton .

<sup>15</sup> Conhecido hoje como “ano miraculoso” de Einstein e da ciência, por conta dos trabalhos desse cientista. Trabalhando no Escritório Suíço de Patentes, ele publicou cinco trabalhos extraordinários. O primeiro artigo chegou à revista *Annalen der Physik* em 18 de março. Ele propôs um modelo corpuscular para a luz, introduzindo a idéia revolucionária do quantum de luz (fóton), explicando com isso o efeito fotoelétrico. O que lhe rendeu em 1921 o prêmio Nobel. Depois de seis semanas apresentou sua tese de doutoramento, que tratava das dimensões das moléculas e como estas contribuíam para a mudança na viscosidade da água. Em seguida, submeteu para publicação seu trabalho relacionado ao movimento de pequenas partículas na água, chamado de Movimento Browniano, mostrando que o movimento era causado por moléculas de água que colidiam continuamente com as partículas. Em junho, introduziu a teoria especial da relatividade e em setembro, deduziu sua equação mais famosa e também a mais famosa equação da física:  $E = mc^2$ , mostrando a equivalência de massa e energia; trabalho publicado na *Annalen der Physik*.

Para conciliar a teoria de Maxwell com as Leis de Newton, foi sugerido que existiria uma substância, denominada éter, que estaria presente em todos os lugares, até mesmo no vácuo. Segundo Einstein e Infeld (1976), a discussão de todas as várias tentativas de compreender a natureza mecânica do éter como meio para a transmissão da luz formaria uma longa história. Em um de seus artigos sobre “O Nascimento da Física”, de 1997, Bassalo apresenta as principais tentativas de explicar o que é o éter, apresentaremos esse artigo no CD de apoio (acessar o link “Artigos de FMC” e em seguida “artigo 10”) e nos limitaremos aqui em argumentar que em 1905, Einstein enfatizou que toda a idéia do éter, cuja presença, como demonstrou a experiência de Michelson-Morley, não pode ser detectada, era desnecessária, desde que estivéssemos dispostos a abandonar a idéia de tempo absoluto. Foi quando ele desenvolveu sua Teoria da Relatividade restrita ou especial, teoria aplicada apenas a sistemas de coordenadas inerciais, isto é, a sistemas nos quais a lei da inércia é válida. Essa teoria é baseada em dois postulados fundamentais:

*1. A velocidade da luz no vácuo é uma constante em qualquer sistema de referência.*

*2. As leis físicas são as mesmas em todos os sistemas coordenados que se movam uniformemente uns em relação aos outros;*

Como consequência desses postulados, as noções de espaço e tempo absolutos defendidas na mecânica Newtoniana tiveram que ser abandonadas, pois dependem do estado de movimento do observador, assim, se um observador se encontra em movimento, com uma velocidade próxima à velocidade da luz, o tempo para ele é dilatado em relação a um observador parado, e o espaço é encolhido na direção do movimento. Outra consequência desta teoria é a conexão entre energia e massa, explicitada na mais famosa equação de Einstein:

$$E = mc^2$$

As duas leis da conservação da massa e da energia são combinadas pela teoria da relatividade restrita em uma, a lei da conservação da massa-energia.

Embora a teoria da Relatividade restrita explicasse satisfatoriamente a questão relacionada à uniformidade da velocidade de propagação da luz para todos os observadores e o que acontecem com os corpos que viajam a uma velocidade próxima a esta, ela é incoerente com a Lei da Gravitação Universal de Newton. De acordo com essa última, os corpos são reciprocamente atraídos com uma força que depende da distância entre eles. Se dois corpos se atraem e movemos

um deles, independente da distância entre eles, o outro sentirá imediatamente, ou seja, numa velocidade que pode ser maior do que a da luz. Einstein resolveu este problema em 1915 quando finaliza sua teoria da Relatividade geral. Agora não mais restrita a sistemas coordenados inerciais, ela sugere que a força gravitacional não é uma força como as outras, mas uma consequência de o espaço-tempo não ser plano, mas curvado pela distribuição de energia e massa dentro dele.

No ano de 1919, com a observação de um eclipse solar, em algumas partes do mundo, inclusive em Sobral, no Ceará, são comprovados os principais resultados da teoria da relatividade geral. A partir dessa oportunidade, Albert Einstein passou a ser mundialmente conhecido. Um de seus trabalhos de 1905, sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento (*Elektrodynamik bewegter Körper*)<sup>16</sup>, tornou-se o artigo mais conhecido na Física ao longo do século XX (GALISON, 2005). Seu argumento diverge tão radicalmente do antigo mundo prático da mecânica clássica que se tornou um modelo de quebra revolucionário. Inicia-se aqui uma verdadeira *Revolução Científica*, como nos aponta T. S. Kuhn (1975). O antigo paradigma da física clássica não resiste, e as leis da Mecânica são revistas, bem como os conceitos de espaço, tempo, massa e energia. Testemunha-se, assim, o surgimento da Relatividade Restrita ou Especial.

Além da questão do éter, uma outra que intrigava os físicos do século XIX era a energia contida na radiação emitida por sólidos incandescente, a chamada radiação térmica. Todos os corpos emitem e absorvem este tipo de radiação. Os físicos idealizaram um modelo para o estudo desta radiação, trata-se do corpo negro, um objeto que absorve toda radiação nele incidente. Max Karl Ernst Ludwig Planck<sup>17</sup> resolve o problema da radiação do corpo negro em 1900, utilizando a hipótese de que a energia deste não tem um espectro contínuo, mas pelo contrário é discreta, ou, em outras palavras, *quantizada*. Einstein utiliza essa mesma hipótese para resolver o problema do efeito fotoelétrico<sup>18</sup> em 1905. Mas vai mais longe, propondo que esta é, na realidade, a verdadeira natureza

---

<sup>16</sup> EINSTEIN, A. Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento. In: Textos fundamentais da Física Moderna. O princípio da Relatividade, vol. 1. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1958. (N.T.)

<sup>17</sup> Planck nasceu em 23 de abril de 1858 em Kiel, Alemanha. É mais conhecido pela constante que leva seu nome, introduzida quando ele resolveu o problema da radiação do corpo negro. Fato que deu origem à teoria quântica e lhe rendeu o prêmio Nobel de Física de 1918. Planck faleceu em 4 de outubro de 1947 em Gottingen, Alemanha.

<sup>18</sup> O efeito fotoelétrico foi observado pela primeira vez por Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), em 1887, quando este investigava a natureza eletromagnética da luz.



da luz. A essa quantidade discreta de luz se chama quantum de luz ou fóton. A hipótese de que a energia é quantizada permite então resolver muitos dos problemas pendentes da Física do início do séc. XX.

Com seu trabalho intitulado *Sobre a teoria da Distribuição de Energia do Espectro Normal*<sup>19</sup>, Plank inaugurou uma nova era da física. Para ajustar sua teoria aos dados experimentais, supôs que a quantidade mínima, ou quantum de energia,  $\Delta E$ , era proporcional à frequência,  $f$ , da radiação:

$$\Delta E = hf$$

Em que “h” é a famosa constante de Planck, que vale, numericamente,  $6,626 \times 10^{-34}$  Js. Cada fóton, ou quantum de luz, transporta uma energia dada por  $hf$ .

Foi a partir dessa relação que Einstein propôs que a equação que relaciona a energia (E) do elétron ejetado, no efeito fotoelétrico, na superfície à frequência ( $f$ ) da luz incidente e à função trabalho ( $w$ ) do metal, que é a energia necessária para o elétron escapar do metal:

$$E = hf - w$$

Segundo Santos (2007, p. 42), em 1916, Millikan<sup>20</sup> publicou um extenso trabalho sobre seus resultados obtidos na Universidade de Chicago, em que comprovava que a equação de Einstein se ajustava muito bem aos experimentos. Segundo esse autor, em 1949, o próprio Millikan confessou ter dedicado mais de 10 anos de sua vida testando essa equação. Embora com absoluto ceticismo, teve suas expectativas contrariadas. Todos os resultados confirmaram a teoria de Einstein sem qualquer ambiguidade. “Este comentário reflete muito bem a postura da comunidade científica da época diante da proposta de Einstein” (SANTOS, 2007, p. 42).

Mas como conciliar o caráter ondulatório da radiação eletromagnética (difração, polarização e interferência) com caráter de partícula proposto por Einstein ao explicar o efeito-fotoelétrico? Essa questão foi resolvida em 1924, pelo francês Louis Victor Pierre

---

<sup>19</sup> Esse trabalho foi apresentado no dia 14 de dezembro de 1900 em uma reunião da Sociedade Alemã de Física. Data em que hoje celebramos o nascimento da Física Quântica. Esse trabalho passou a ser mais valorizado após a explicação de Einstein para o efeito fotoelétrico.

<sup>20</sup> Robert Andrews Millikan nasceu em 22 de março, de 1868, em Morrison nos EUA. Foi o primeiro americano nato a ganhar o prêmio Nobel de Física. Suas principais contribuições para a Física foram: a medida da carga do elétron e a medida da constante de Planck por meio do efeito fotoelétrico. Faleceu na Califórnia, em 1953.

Raymond de Broglie<sup>21</sup>, quando este apresentou a idéia em sua tese de doutoramento. Sua solução foi estabelecer uma natureza ondulatória para as partículas (prótons, elétrons e outros). Assim, como os fótons são ao mesmo tempo onda e partículas, as partículas, segundo de Broglie, também deveriam ter esse comportamento dual. Esta suposta onda também teria uma frequência  $f$  e sua energia seria, como no caso dos fótons:

$$E = hf$$

E seu momento, enquanto característica mecânica seria:

$$p = h/\lambda$$

Em que,  $\lambda$ , é o comprimento de onda de associado à partícula. Que é conhecido como comprimento de onda de de Broglie.

A hipótese de de Broglie foi testada em 1927 por George Paget Thompson<sup>22</sup>. Ele mostrou que os elétrons sofrem difração e, partindo do padrão de difração obtido, mediu o comprimento de onda de de Broglie e verificou estar de acordo com a relação  $\lambda = h/p$ . Assim, como enunciou Niels Henrik David Bohr<sup>23</sup>, em seu princípio da complementaridade, onda e partículas são conceitos complementares e não opostos como na Física Clássica.

“Essas características de onda no movimento das partículas acabou levando à percepção de que, para qualquer partícula, há uma relação complementar entre a precisão na definição da posição e na da quantidade de movimento” (MENEZES, 2005, p. 147). E foi Werner Karl Heisenberg<sup>24</sup> quem formalizou isso em seu famoso princípio da

<sup>21</sup> Louis de Broglie nasceu em 15 de agosto de 1892 em Dieppe, França. Ele formalizou toda a polêmica em torno da natureza da luz, que se estendeu por mais de um século, estabelecendo o princípio da dualidade onda-partícula. Recebeu o prêmio Nobel de Física de 1929, pela descoberta da natureza ondulatória do elétron. Faleceu em Paris em 19 de março de 1987.

<sup>22</sup> Por essa comprovação recebeu o prêmio Nobel de 1937. Curiosamente ele é filho de Joseph John Thompson, que foi quem em 1897 descobriu o elétron e, justamente por isso, também levou o Nobel em 1906.

<sup>23</sup> Bohr, nasceu no dia 7 de outubro de 1885 em Copenhague, Dinamarca. Exerceu grande liderança na comunidade científica internacional. Foi um dos maiores promotores e defensores da Mecânica Quântica. Durante muito tempo manteve um debate caloroso com Einstein em torno da interpretação desta parte da Física. Sua versão ficou conhecida como interpretação de Copenhague. Foi por causa desta polêmica que Einstein disse a famosa frase: Deus não joga dados. Bohr deu grandes contribuições para o entendimento do modelo atômico atual, contribuições que o levaram a receber o prêmio Nobel de Física em 1922. Faleceu na sua cidade natal em 18 de novembro de 1962.

<sup>24</sup> Heisenberg nasceu no dia 05 de dezembro, de 1901, em Wurzburg, Alemanha. Doutorou-se pela Universidade de Munique, em 1923 aos 22 anos. Em 1924 tornou-se assistente de Max Born no centro universitário de Gottingen, em seguida transferiu-se para Copenhague, onde trabalhou com Niels Bohr. Em 1927 passou a ensinar física na Universidade de Leipzig, onde

incerteza: a multiplicação da incerteza no conhecimento da posição pela incerteza no conhecimento da correspondente quantidade de movimento nunca é menor do que a constante  $h$ , a constante de Planck. É impossível aqui descrever posições e velocidades, assim como prever a trajetória de uma partícula elementar, como na Física Clássica. Faz-se necessária a utilização da estatística.

Dessa forma tem-se a noção da trajetória, de natureza determinista, coerente na física clássica, substituída pela noção de função de onda, de natureza probabilística. Essa interpretação da função de onda, como *medida* da potencialidade de localização de uma partícula, foi dada pela análise e correta interpretação de Max Born<sup>25</sup>, que foi quem conseguiu correlacionar as propriedades de partículas com as ondas de matéria.

Tivemos que renunciar à descrição de casos individuais como acontecimentos objetivos no tempo e no espaço; tivemos de introduzir novas leis de natureza estatística. Essas são as principais características da Física Quântica moderna (EINSTEIN e INFELD, 1976, p. 230).

Assim, nas primeiras décadas do século XX, foram feitas descobertas que permitiram uma compreensão completamente nova do universo e que transformaram a organização da vida produtiva e social (MENEZES, 2005, p. 22). Os alicerces da Física Moderna foram estabelecidos durante a primeira metade do século XX com o trabalho de muitos outros cientistas como: Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928),

---

enunciou o Princípio da Incerteza ou Princípio de Heisenberg, segundo o qual é impossível medir simultaneamente e com precisão absoluta a posição e a velocidade de uma partícula. Em 1932, recebeu o prêmio Nobel de Física pela criação da mecânica quântica. De 1942 a 1945, dirigiu o Instituto Max Planck, Berlim. Durante a Segunda Guerra Mundial trabalhou com Otto Hahn, um dos descobridores da fissão nuclear, no projeto de um reator nuclear. Sendo o líder do programa de construção de bomba atômica dos nazistas. Heisenberg faleceu em Munique em fevereiro de 1976.

<sup>25</sup> Max Born nasceu em Breslau, na Alemanha, em 11 de dezembro de 1882. Iniciou seus estudos na universidade de sua cidade natal e prosseguiu nas universidades de Heidelberg e Zurique. Em 1909 foi nomeado professor na Universidade de Göttingen, onde trabalhou até 1912. Em 1919, tornou-se professor na Universidade de Frankfurt e, em 1921, foi novamente professor em Göttingen. Durante este período, formulou a interpretação estatística da função de onda, pela qual recebeu o Prêmio Nobel de Física de 1954. Born era amigo de Einstein, e foi numa carta endereçada a ele, em 1926, que Einstein escreveu, referindo-se à mecânica quântica, a famosa frase "Deus não joga dados com o universo". Born faleceu em Göttingen, no dia 5 de janeiro de 1970.

Jules Henri Poincaré (1854-1912), Erwin Schrödinger (1887-1961), Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984), Richard Feynman (1918-1988), Wolfgang Pauli (1900-1958) e outros. Alguns aspectos fundamentais da contribuição desses autores ainda são alvo de investigação em nossos dias.

Inicia-se aqui uma nova era na Física, bastando assentar alguns princípios dentro do novo paradigma, para que se retorne a um novo período de *Ciência Normal* (KUHN, 1975). “Os nossos conhecimentos são agora mais amplos e mais profundos do que os dos físicos do século XIX, mas também o são nossas dúvidas e as nossas dificuldades.” (EINSTEIN e INFELD, 1976, p. 102). Pois “a ciência não é e jamais será um livro fechado. Todo novo avanço traz novas questões. Todo desenvolvimento revela, a longo prazo, dificuldades novas e mais profundas” (idem ao anterior, p. 233). A elaboração da FMC permitiu a criação de vários equipamentos que hoje utilizamos em nosso dia-a-dia e o entendimento de vários fenômenos que não eram explicados pela física clássica, bem como várias complicações com o uso indiscriminado das aplicações desse novo corpo teórico de conhecimentos. A chamada física clássica continua válida dentro de certos limites. Precisamente, quando as massas dos objetos não forem tão pequenas quanto massas atômicas, nem tão grandes quanto massas de galáxias, e sempre que as velocidades envolvidas forem muito menores do que a velocidade da luz, a física clássica possibilitará uma boa descrição fenomenológica.

O século XX inicia com a revolução científica da relatividade e da mecânica quântica, mas foi a Física nuclear que dominou seus anos centrais. Com a explosão das bombas em Hiroshima e Nagasaki em 1945 os problemas relacionados com a energia nuclear ficaram no centro das atenções. Houve apoio financeiro quase ilimitado para a construção de laboratórios e incentivou-se a formação de especialistas, o que também possibilitou a criação de um ramo industrial muito importante por meio da exploração pacífica da energia nuclear. Segundo Hamburger (1985), no Brasil, assim como nos países subdesenvolvidos, foram tomadas algumas medidas para que o país não ficasse irremediavelmente para trás nesta nova corrida tecnológica e armamentista. De acordo com esse autor, antes da guerra não havia grandes laboratórios de física, mas já em 1951 havia um acelerador sendo instalado e outro em início de construção em São Paulo. No Rio de Janeiro, fundava-se o Centro Brasileiro de pesquisas Físicas e há a

criação do Conselho Nacional de Pesquisas, CNPq, primeiro órgão governamental brasileiro destinado especialmente ao apoio às ciências.

### **2.1.1 Nanociência e Nanotecnologia**

Como vimos anteriormente, a elaboração e avanço da FMC permitiu explicar fenômenos que não o eram pela Física Clássica e deu origem a vários equipamentos tecnológicos. Experimentamos diariamente o uso de alguns desses equipamentos, outros são restritos aos cientistas nos laboratórios, possibilitando ainda a invenção de novos equipamentos e principalmente um maior entendimento daquilo que acontece em nosso universo, tanto no mundo microscópico quanto no macroscópico.

De acordo com Valadares, Chaves e Alves (2005) a Nanociência e a Nanotecnologia também se tornaram possíveis graças a FMC, especificamente a dois avanços que foram decisivos. O primeiro deles está associado à invenção de instrumentos de visualização e manipulação da matéria (os chamados microscópio de varredura por sonda – SPM na sigla inglesa). O outro fator foi o desenvolvimento de equipamentos capazes de produzir filmes sólidos com controle de espessura em escala atômica. De acordo com esses autores, o que caracteriza a Nanociência e a Nanotecnologia é a adoção de técnicas que permitem tanto visualizar como manipular a matéria na escala nanométrica, incluindo a manipulação direta de átomos.

Em 1981, foi criado o microscópio de tunelamento, que permitiu obter imagens de átomos em uma superfície. Já a possibilidade de mover átomos individualmente foi demonstrada em 1989, quando pesquisadores americanos escreveram o logotipo IBM ao posicionarem átomos de xenônio sobre uma superfície de níquel.

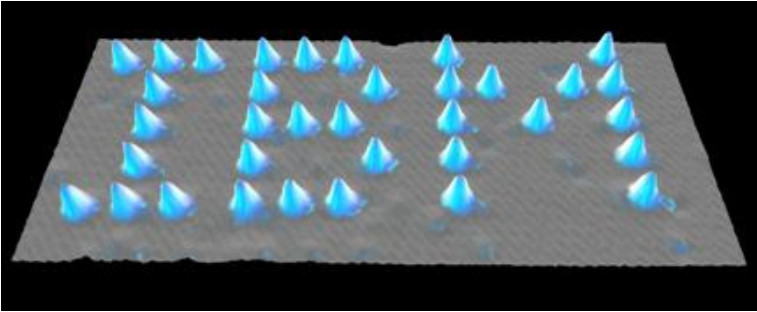


Figura I: Posicionamento de 35 átomos de xenônio na superfície de um cristal de níquel, usando um instrumento de microscopia de força atômica. Fonte: (D.M. Eigler, E.K. Schweizer. **Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope.** *Nature* 344, 524-526 (1990))

Desde então, o domínio científico e tecnológico da escala nanométrica está passando por um surto de crescimento, graças a novas ferramentas de pesquisa e a desenvolvimentos experimentais e teóricos. Disto resultam novos produtos e processos industriais em um ritmo extremamente acelerado. Estão surgindo classes inteiramente novas de dispositivos e sistemas micro e nanofabricados. Esta situação parece indicar um novo salto da civilização tecnológica, porque oferece oportunidades científicas e industriais impensáveis até agora.

Nano – que significa ‘anão’, em grego – é o prefixo usado na notação científica para expressar um bilionésimo ( $10^{-9}$ ). Um nanômetro (nm), por exemplo, equivale a um bilionésimo de metro, ou seja,  $10^{-9}$  m. Nanociência é o termo utilizado para descrever o campo interdisciplinar da ciência voltado para o avanço da Nanotecnologia.

A importância da ciência nessa dimensão reside no fato de que, à medida que a escala do objeto que se manipula aproxima-se do intervalo de 0,1 a 100 nanômetros, as leis da física existentes na escala em que estamos familiarizados, como a gravidade, passam a ter uma importância bem menor. Nessa escala, que é justamente definida pelas alterações em algumas propriedades físicas e químicas, um material passa a se comportar com base na Física quântica, que como já vimos, difere em alguns pontos da física clássica. Propriedades térmicas, ópticas, magnéticas e elétricas, por exemplo, podem ser atingidas quando certos materiais são submetidos à miniaturização em nanopartículas, mantendo-se a mesma composição química. Reações químicas também podem ocorrer entre diferentes elementos químicos

em proporções muito menores, dado que partículas nanométricas apresentam uma área de contato muito maior.

Esse aumento na área superficial dos materiais que atingem a escala nanométrica é apontado como uma das grandes vantagens da nanotecnologia, uma vez que torna estes materiais muito mais reativos. Como resultado, os materiais nesta escala absorvem calor facilmente e a temperatura de fusão diminui. Se as dimensões do material considerado são reduzidas drasticamente, até alguns nanômetros os domínios magnéticos serão forçados a se concentrarem em um volume reduzido, aumentando assim a “repulsão” entre eles. Em uma partícula nanométrica cada átomo faz parte de um arranjo magneticamente ordenado, com os momentos magnéticos alinhados em uma única direção espacial, e portanto o momento magnético total é a soma de todos os momentos atômicos da partícula, podendo ser muito maior que os momentos atômicos dos átomos constituintes. Além disso, nesta escala, podemos observar alterações na coloração sem mudar a composição dos materiais.

Estes são apenas alguns exemplos de como os nanomateriais diferem dos materiais em uma escala maior. A meta da nanotecnologia é utilizar estas novas propriedades para preparar novos materiais. Estes nanomateriais não possuem, necessariamente, tamanho nanométrico, mas possuem em sua composição estruturas nanométricas que suscitam novas propriedades e aplicações.

O uso de objetos nessa escala não é recente. Mesmo sem conhecer a natureza nanoscópica, o homem já produz e faz uso de materiais nesta dimensão há muito tempo. Desde o tempo da alquimia, através da obtenção e utilização de ouro e metais precisos coloidais para modificação da cor de vidros utilizados em cálices e em vitrais de catedrais medievais.



Figura II: O cálice de Licurgo, exemplo de “nanoartesanato” do século IV D.C. A transmissão e a refração da luz interagindo com partículas nanométricas, dispersas na matriz vítrea, produz mudanças de coloração. Fonte: (<http://www.cambridge2000.com>).

A tinta nanquim produzida pelos chineses é constituída de nanopartículas de grafite suspensas em água. Os artesões que trabalhavam nas igrejas da idade média utilizavam partículas de ouro, em tamanhos diferentes, imersas nos vitrais, que resultavam nas mais variadas cores. Com o desenvolvimento da Física Quântica, hoje sabemos que é pelo confinamento quântico que as dimensões das partículas de ouro influenciam na frequência da luz que pode ser absorvida ou emitida por elas.





Figura III - Vista interna dos vitrais da Catedral de Carlisle/UK, fundada em 1122. A coloração dos vitrais é decorrente da adição de nanopartículas de ouro, prata e cobre ao vidro. Fonte: ([http://marcanc.com/viagens/sq200309/sq2003set\\_carl.html](http://marcanc.com/viagens/sq200309/sq2003set_carl.html)).

Podemos afirmar que as primeiras concepções acerca da Nanociência surgiram já no dia 29 de dezembro de 1959 durante a palestra<sup>26</sup> de Richard Feynman no Instituto de Tecnologia da Califórnia. O título dessa palestra era “There is plenty of room at the bottom” (“Há espaço de sobra lá embaixo”). De acordo com Roukes<sup>27</sup> (2008), embora não fosse a intenção de Feynman, as 7 mil palavras ditas em sua palestra fizeram parte do momento definidor da nanotecnologia, muito antes que qualquer coisa nano aparecesse no horizonte. Feynman chamava a atenção para o fato de que, na dimensão atômica, se está trabalhando com leis diferentes e, assim, devem ser esperados novos efeitos e novas possibilidades. Uma das hipóteses levantadas nessa palestra era a de que seria possível condensar, na cabeça de um alfinete, todos os 24 volumes

---

<sup>26</sup> Existe uma tradução desta palestra para o português. Sua leitura é interessantíssima (ver anexo quatro).

<sup>27</sup> Michael Roukes é professor de Física, Física aplicada e bioengenharia do Caltech (Califórnia Institute of Technology). Ele lidera um grupo multidisciplinar que estuda sistemas em nanoescala.

da Enciclopédia Britânica, ou 24 milhões de livros no menor grão de poeira que pode ser distinguido pelo olho humano, vislumbrando as futuras descobertas na fabricação de sistemas em escala atômica e molecular. Segundo Schulz (2007), essa palestra é um exemplo de texto que é muito mais citado do que realmente lido, parâmetro que indica sua importância, mas que, por outro lado, pode dar origem a lendas urbanas não justificadas.

Já o termo nanotecnologia foi cunhado na Universidade de Tóquio em 1974, pelo professor Norio Taniguchi, mas só se tornou conhecido em 1986, pelo engenheiro norte americano Eric Drexler, por meio do livro *Engines of creation* (Motores da criação). O livro renovava o interesse pelo assunto, mas a grande maioria das ideias apresentadas não passava de uma possibilidade hipotética contestado por diversos cientistas. Entretanto, em 1989, os cientistas descobririam que o microscópio de tunelamento podia deslocar átomos à vontade e isso conferiu credibilidade a Drexler. Para chamar atenção para o tema e dar mais confiabilidade para suas ideias, Drexler utilizava astuciosamente o nome de Feynman e fazia referências a sua palestra de 1959, tornando-a ainda mais conhecida. Foi assim que Drexler tornou-se o dono do primeiro PhD em Nanotecnologia do mundo e é considerado por muitos como o pai da Nanotecnologia. Embora criticado por vários cientistas pela ausência de base científica em algumas de suas ideias, ele vem estudando, durante todos estes anos, as amplas possibilidades que as Nanotecnologias podem propiciar para o desenvolvimento dos sistemas das sociedades.

Me interessei na ciência e no futuro da tecnologia quando jovem, e entendi, enquanto estava na faculdade, que as tecnologias de manufatura molecular poderiam ser desenvolvidas e seriam muito poderosas. É fácil compreender os fatos básicos: são tão simples quanto problemas em um caderno da faculdade, e são baseadas na mesma e familiar física e química. Descrevi esse quadro do futuro alguns anos depois, em um periódico científico, o *Proceedings of the National Academy of Sciences* (EUA). Isso foi em 1981. Continuei a estudar e a relatar esses tópicos, em artigos e livros (em 1986, um livro não-técnico, *Engenharias da criação*, e em 1992, um livro de física aplicada baseado em minha dissertação no MIT). Esse trabalho levou à primeira empolgação generalizada sobre “nanotecnologia”, um termo que comecei a usar em meados dos anos 1980 (DREXLER, 2008).

A Nanotecnologia engloba todo tipo de desenvolvimento tecnológico dentro da escala nanométrica, geralmente entre 0,1 e 100 nanômetros. Assim, podemos dizer que a Nanotecnologia é a tecnologia feita nessa escala de comprimento, mas de maneira controlável e reprodutível, envolvendo fenômenos que muitas vezes não ocorrem em outras escalas de tamanho. Em outras palavras, não estamos falando simplesmente de miniaturização de algo grande para algo muito pequeno.

Os sistemas resultantes nesta escala podem ser obtidos de duas formas: *top down* (de cima para baixo) e *bottom up* (de baixo para cima). O método *top down* (“de cima para baixo”) refere-se à diminuição do material de sua forma volumosa para dimensões nanométricas por técnicas de litografia. Já o método *bottom up* (“de baixo para cima”), pensado inicialmente por Richard Feymann, refere-se à construção de dispositivos a partir de átomos ou moléculas ligados quimicamente. Nesse caso, as estruturas são vistas como “blocos de construção” para a obtenção de dispositivos nanométricos.

Independente da forma de produção, estes sistemas apresentam novos fenômenos e propriedades, que são dependentes do tamanho das partículas que os constituem. Esses novos materiais, em geral, são produzidos artificialmente, embora existam vários na natureza. Como, por exemplo, partículas de argila ou os blocos básicos que constituem os seres vivos. Enfim, a nanotecnologia está relacionada à capacidade de criar objetos a partir do controle em nível atômico, utilizando-se as técnicas e ferramentas que estão disponíveis atualmente e que ainda estão sendo desenvolvidas, com a finalidade de colocar cada átomo e cada molécula no lugar desejado, desde que os princípios fundamentais sejam obedecidos. Não se pode, por exemplo, colocá-los de maneira que fiquem quimicamente instáveis.

De acordo com a National Science Foundation (2001), os avanços em nanociência e nanotecnologia prometem grandes implicações para a saúde, economia e paz nas próximas décadas. O conhecimento neste domínio está a crescer em todo o mundo, sendo fundamental para os avanços científicos levando a mudanças dramáticas na maneira que os materiais, dispositivos e sistemas estão sendo compreendidos e criados. Gerando uma revolução na ciência e na tecnologia, com base na recente capacidade de medir, manipular e organizar a matéria na nanoescala, causando impactos de grande alcance. Segundo a SBF (2005), essa revolução científica e tecnológica

de enorme abrangência intensificou-se nos últimos dez anos. No entanto, o atual surto de desenvolvimento na área é muito recente.

De acordo com Roukes (2008), em 1957, Rolf Landauer, teórico da IBM, previu que a Física Quântica pode governar completamente o comportamento de pequenos dispositivos elétricos, entretanto, apenas em meados da década de 80 o controle sobre materiais e nanofabricação permitiram sucesso a este regime em laboratório. Segundo este autor, um segundo ato significativo para a nanotecnologia foi postulado em 1985 por Konstantin Likharev, um jovem professor da Universidade Estadual de Moscou, juntamente com dois colegas de trabalho.

Eles anteciparam que cientistas poderiam controlar o movimento de átomos individuais on and off em uma “ilha coulomb”, um condutor debilmente acoplado com o restante de um nanocircuito. Isso poderia formar a base de um tipo inteiramente novo de dispositivo, chamado de transistor de elétron único. Os efeitos físicos produzidos quando se coloca um elétron único numa ilha coulomb tornam-se mais robustos à medida que a ilha é diminuída. Em artefatos muito pequenos, esses efeitos de carga elétrica podem dominar completamente o fluxo de corrente. (ROUKES, 2008, p. 9)

De lá para cá, o processo de miniaturização avançou muito, sendo impossível não se impressionar pelos rumos que podem tomar. Entretanto, nem tudo vale, existem regras, existem fenômenos esperando por explicações e os segredos inexplorados da natureza. Entretanto, com Martins (2004), podemos apontar algumas possibilidades, embora segundo Roukes (2008), apenas começamos a dar os primeiros passos em direção ao anúncio de Feynman.

Da nanotecnologia também espera-se grandes impactos diretos na qualidade de vida das pessoas, por exemplo, tornando os remédios mais eficazes, na medida que viabiliza a colocação do mesmo exatamente na célula doente. Isso poderá acarretar uma segunda ordem de conseqüências no que toca a ampliação da expectativa de vida, aumento do contingente populacional de idosos, idade mínima de aposentadoria, mudanças na aposentadoria, mudanças nos planos de saúde e seguro de vida. [...] Também em relação ao meio ambiente os impactos poderão ser no sentido de se estabelecer processos produtivos não poluidores e com isto uma série de tecnologias e plantas

poluidoras poderão ser fechadas. Muitas são as promessas de que a nanotecnologia seja uma tecnologia em prol do meio ambiente. Mas depois dos eventos relativos a biotecnologia/transgênicos as iniciativas de maior e mais controle social sobre o desenvolvimento de novas tecnologias se colocam. (MARTINS, 2004, p. 16).

Oficialmente o desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia, no Brasil, teve início no século XXI, mais precisamente em 2001, com o *Edital do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) Nano n° 01/2001*, que previa a constituição de quatro redes de pesquisa em nanotecnologia (Rede de Nanobiotecnologia, Rede de Nanodispositivos, Rede Nacional de Materiais Nanoestruturados e Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces) cujo valor orçado foi de R\$ 3.000.000,00, (MARTINS, 2007)<sup>28</sup>.

De acordo com este autor essas redes encerraram oficialmente suas atividades no final de outubro de 2005 e a continuidade da ação governamental neste campo deu-se mediante o *Edital MCT/CNPq n° 29/2005*. Segundo relatório da Coordenação de Nanotecnologia do MCT, em 2005, esse edital criou dez redes (Programa Rede BrasilNano<sup>29</sup>), que apresentaram uma demanda de R\$ 27,2 milhões em quatro anos. Os recursos foram provenientes de fundos setoriais e da ação orçamentária (PPA 2004-2007) Apoio a Redes e Laboratórios de Nanotecnologia. As dez redes contempladas com este novo edital, as

---

<sup>28</sup> Neste trabalho é retratado o desenvolvimento recente da nanotecnologia no Brasil no período de 2001 a 2006. Os dados utilizados são provenientes de fontes oficiais e de arquivos dos pesquisadores da Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma). A demonstração deste trabalho será realizada por um conjunto de pesquisadores que se vem dedicando a tornar a nanotecnologia objeto de estudo das ciências humanas e, com isto, contribuir para a produção de conhecimentos científicos sobre este tema, tornando efetivamente a nanotecnologia uma atividade multidisciplinar.

<sup>29</sup> De acordo com a portaria MCT (2005) a Rede BrasilNano tem por finalidade fomentar o avanço científico-tecnológico e da competitividade internacional da ciência, tecnologia e inovação brasileiras, o desenvolvimento regional equilibrado, a interação entre centros de pesquisa públicos e privados e empresas, *centrais sindicais e entidade da sociedade civil voltadas a defesa dos interesses difusos da sociedade*, com vistas à formação de recursos humanos, à geração de empregos qualificados, à elevação do patamar tecnológico da indústria nacional e à aceleração do desenvolvimento econômico do país, à preservação do meio ambiente e à melhoria da qualidade de vida da população brasileira, por meio da constituição de redes de pesquisa e desenvolvimento focadas em Nanociência e Nanotecnologia, em suas aplicações inovadoras em produtos e processos nanotecnológicos, *no estudo de políticas públicas e de impactos econômicos, sociais, ambientais e éticos da Nanotecnologia*.

quais possuem uma previsão de atividade para quatro anos, foram: Rede Nanofotônica, Rede de Pesquisa em Nanobiotecnologia e Sistemas Nanoestruturados, Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces, Rede Nanotubos de Carbono: Ciência e Aplicações, Rede Nanocosméticos: do Conceito às Aplicações Tecnológicas, Rede de Microscopia de Varredura Eletrônica – *Software e Hardware* Abertos, Rede de Pesquisa em Simulação e Modelagem de Nanoestruturas, Rede Cooperativa de Pesquisa em Revestimentos Nanoestruturados, Rede de Pesquisa Nanoglicobiotecnologia e Rede Nanobiomagnetismo. Entretanto, seria muita ingenuidade da nossa parte, pensar que esta área passou a se desenvolver apenas após estes editais. São constatados investimentos do CNPq em equipamentos para técnicas de crescimento epitaxial de semicondutores, realizados em 1987, e teses no campo da Nanociência e Nanotecnologia. Assim, tivemos contribuições nesta área desde o início da década de noventa.

De acordo com Martins (2007), embora os recursos públicos aplicados no desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia sejam oriundos dos impostos pagos pela sociedade, os atores e agentes que contribuem e decidem os rumos do desenvolvimento da nanociência e nanotecnologia no Brasil não incluem os atores e agentes sociais tais como entidades de defesa do interesse difuso da sociedade (meio ambiente, saúde, consumidor), entidades representativas dos trabalhadores (como centrais sindicais, sindicatos e seus órgãos de assessoria), entidades de defesa dos direitos humanos, entidades relativas ao direito à saúde, entidades de defesa da participação popular, entidades religiosas, etc. O que é muito agravante para a sociedade, pois:

Na medida em que não é possível a articulação de cientistas com entidades provenientes da sociedade civil organizada, como, por exemplo, aquelas que defendem os interesses difusos da sociedade (meio ambiente, defesa do consumidor, etc.), interessadas nos estudos sobre impactos da nanotecnologia, a discriminação na apropriação do dinheiro público fica caracterizada, sendo passível inclusive de ser questionada quanto a sua constitucionalidade, pois aqui se configura que o dinheiro público pode ser apropriado somente desta forma, o que é uma nítida discriminação. (MARTINS, 2007, p. 43).

Além disso, é reforçada a idéia de que é apenas o cientista que deve se preocupar com as implicações e complicações pelo uso da ciência e da tecnologia, deixando a população isenta dessa preocupação,

de que a tecnologia é neutra e o uso de qualquer tecnologia só traz melhorias para a sociedade e ainda reforça a ACT reduzida (AULER E DELIZOICOV, 2001). Podemos observar tal fato principalmente quando analisamos as sete ideias levantadas por Martins (2005, p 14 e 15) que estão presentes nos diversos editais que compuseram este processo de desenvolvimento de nanociência e nanotecnologia, em termos de objetivos a serem alcançados. São elas:

- 1) incrementar o desenvolvimento científico e tecnológico;
- 2) incrementar a competitividade internacional da ciência, tecnologia e inovação brasileira;
- 3) desenvolvimento regional equânime;
- 4) integrar a pesquisa realizada pelo setor público (universidades, centro de pesquisas), privado e empresas;
- 5) criação de empregos qualificados;
- 6) incrementar o nível tecnológico das empresas brasileiras;
- 7) incrementar o desenvolvimento econômico brasileiro.

Tais ideias são sintetizadas por esse autor da seguinte forma: as novas tecnologias levam às inovações; estas necessariamente implicam aumento da competitividade de empresas, indústrias, países, o que, por sua vez, assegura o crescimento econômico, que vai redundar em mais bem-estar social.

Sabemos, contudo, que a verdade não é bem essa. Vários cientistas reclamam que o uso comercial de materiais em escala nanométrica não possui regulamentações ou um corpo de leis para supervisionar essa nova tecnologia. Mesmo sem esse cuidado, percebe-se que empresas já estão produzindo toneladas de nanomateriais para que sejam usados como catalisadores, em cosméticos, tintas, revestimentos e tecidos. Outro agravante apontado por eles é o fato de que alguns materiais são compostos familiares que nunca foram comercializados, enquanto outros são produzidos a partir de elementos atômicamente modificados que não existem na natureza. Portanto, seus efeitos negativos e impactos, principalmente sobre o ambiente, são ainda desconhecidos pelos cientistas. Por exemplo, algumas das novas formas de carbono, como nanotubos, estão sendo produzidas pela primeira vez.

É nesse sentido que em setembro de 2000, a National Science Foundation a pedido da subcomissão em Ciência, Engenharia e Tecnologia da Nanoescala do Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (NSTC), organizou um Workshop sobre esse tema para discutir o potencial, as aplicações e implicações da Nanociência e Nanotecnologia com os principais especialistas do mundo acadêmico,

setor privado e do governo dos Estados Unidos. Nesse evento foi recomendado que a coordenação do Instituto Nacional de Nanotecnologia deverá estabelecer um mecanismo para informar, educar e envolver a população sobre os potenciais impactos da nanotecnologia.

Na Europa, frente ao salto da nanotecnologia, foi desenvolvido um projeto<sup>30</sup> em 2006, com a duração de cinco anos, sob responsabilidade da Universidade de Namur, visando ao desenvolvimento de testes toxicológicos para a definição de uma nova norma europeia para a fabricação, manipulação e uso de produtos que contenham substâncias na escala nanométrica. Segundo Minet (2006) um dos objetivos do projeto é comunicar ao grande público e às indústrias europeias os resultados científicos de forma clara e confiável.

Aqui no Brasil, entre outras iniciativas, temos como destaques a Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma), que tem se preocupado em levar essas discussões nas instituições públicas e privadas, por meio de seminários, simpósios, videoconferências e chats e o Laboratório de Química do Estado Sólido da UNICAMP, com um grupo de pesquisa e um espaço reservado só para divulgar as últimas pesquisas nacionais e internacionais acerca do desenvolvimento e das implicações da Nanociência e Nanotecnologia. Algumas iniciativas estão sendo tomadas, mas ainda assim precisamos de parcimônia.

Não se trata de colocar essa ciência e tecnologia como empreendimentos negativos, mas sim de discernir o que realmente é positivo para o bem-estar de toda a nação e não só para uma ínfima parte dela. Mas, para que isso aconteça, é necessária uma mudança de postura de cada pessoa, a começar pelos professores. Afinal, qual o papel dos professores quando se pensa em conscientização dos cidadãos a respeito dos empreendimentos da ciência e da tecnologia?

De acordo com Silva (2003), os problemas complexos não têm soluções simples e, para essa inovação, ainda não há respostas confiáveis para a sociedade, a fim de que as pessoas optem, conscientemente, entre as várias possibilidades apresentadas pelas nanotecnologias e opinem sobre os riscos e potencialidades a elas

---

<sup>30</sup> Segundo Minet (2006) o projeto conta com a participação de biólogos, químicos, físicos, médicos e farmacêuticos. Cinco milhões de Euros serão investidos sobre cinco anos pela região Wallone e mais Cinco milhões de Euros em termos de recursos humanos e materiais investidos pela universidade. A equipe desenvolverá uma série de modelos para testar, em tecidos artificiais, os efeitos das nanopartículas sobre o organismo. Depois de testar os numerosos tipos de nanopartículas desenvolvidos na indústria esses modelos serão comparados aos testes realizados em animais.



vinculados. Esse potencial inovador, por sua vez, demanda um esforço colaborativo de estudiosos de diferentes disciplinas das ciências formais, naturais, sociais e humanas, pesquisar conjuntamente o que pode representar, para o destino do homem, do universo, e da cultura, o controle absoluto da estrutura da matéria. Pois como bem salienta Roukes:

Cientistas estudaram e em grande parte já compreendem a matéria e as partículas fundamentais que compõem os nêutrons, elétrons e prótons, de crucial importância para químicos, físicos e engenheiros. Mas ainda não podemos prever como montagens complexas desses três componentes elementares irão se comportar em massa. Por essa razão, acredito firmemente que é na fundação da ciência experimental em curso, na colaboração íntima com a teoria que construiremos a estrada para a verdadeira tecnologia. Mantenhamos os olhos abertos para as surpresas no caminho. (ROUKES, 2008, p. 13)

De acordo com Fourez (1997), os alunos deveriam compreender o funcionamento dos aparatos tecnológicos, bem como as implicações sociais da tecnologia, para negociar com os produtos científico-tecnológicos que estão em sua volta e estar em condições de perceber as relações de poder a respeito de seu uso. Acreditamos que o ensino da Física no Ensino Médio deve incluir essas questões para permitir aos estudantes pensar e interpretar fenômenos do mundo que os cerca, entender o verdadeiro papel da ciência, assim como entender os avanços tecnológicos, que, embora sejam essenciais para o desenvolvimento econômico e social do país, podem criar novas necessidades e assegurar àqueles que a dominam a possibilidade do controle sobre os outros; de modo que possam refletir sobre a utilização e as implicações destes. Infelizmente, já estamos no século XXI e ainda não ensinamos a física construída a partir do século XX, o que dificulta o entendimento do desenvolvimento tecnológico e o debate dessas questões.

## **2.2 Por um Ensino de Física Moderna e Contemporânea**

Atualmente, um atraso no Ensino de Física, comparado ao avanço científico e tecnológico, tem provocado nos alunos um questionamento do porquê estudar Física, já que não conseguem associá-la ao seu dia-a-dia. Dessa forma, como podemos observar no trecho abaixo, extraído do PCN, parte III, faz-se necessária uma urgente

revisão sobre o que é tratado e como estão sendo tratados os conteúdos nesta disciplina.

(...) disciplinas científicas, como a Física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e tratam de maneira enciclopédica e excessivamente dedutiva os conteúdos tradicionais. Para uma educação com o sentido que se deseja imprimir, só uma permanente revisão do que será tratado nas disciplinas garantirá atualização com o avanço do conhecimento científico e, em parte, com sua incorporação tecnológica. Como cada ciência, que dá nome a cada disciplina, deve também tratar das dimensões tecnológicas a ela correlatas, isso exigirá uma atualização de conteúdos ainda mais ágil, pois as aplicações práticas têm um ritmo de transformação ainda maior que o da produção científica. Nunca é demais insistir que não se trata de se incorporar elementos da ciência contemporânea simplesmente por conta de sua importância instrumental utilitária. Trata-se, isso sim, de se prover os alunos de condições para desenvolver uma visão de mundo atualizada, o que inclui uma compreensão mínima das técnicas e dos princípios científicos em que se baseiam (BRASIL, 2000, p.09).

Nesse sentido, várias pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de incluir conceitos e questões que possam dotar um significado a esse ensino e uma intervenção mais crítica que permita aos alunos pensar e interpretar o mundo a sua volta. Acreditamos que essas questões só serão compreendidas e superadas se alguns conceitos estabelecidos a partir do século XX forem abordados nas escolas. O que poderia favorecer uma melhor conexão entre o ensino de física e o cotidiano do aluno, além de “(...) prover os alunos de condições para desenvolver uma visão de mundo atualizada” (BRASIL, 1999, p.209).

De acordo com Terrazzan (1994), é sobre a influência de alguns projetos estrangeiros que essa preocupação em aproximar o Ensino de Física do Ensino Médio, da ciência Física do século passado toma corpo. Desses projetos, Terrazzan (1994), aponta três desenvolvidos nas décadas de 60 e 70 e que tiveram grande repercussão, dois norte-americanos, o Physical Science Study Committee (PSSC) e o Harvard Project Physics (HPP), que apresentam tópicos de FMC, ao final da coleção, e o inglês Nuffield, com dois níveis, o Nuffield Science Teaching Project (NSTP) que mescla a Física Clássica com tópicos de FMC, e o Nuffield Advanced Science (NAS), um nível avançado do NSTP em que se aprofundam tópicos da FMC. Sendo que este último

“teve pouca ou nenhuma divulgação aqui no Brasil” (PINHO ALVES, 2000).

Aqui no Brasil, de acordo com Terrazzan (1994) tivemos quatro grandes projetos de inovação do Ensino Médio de Física. São eles: O PEF, Projeto de Ensino de Física, o PBEF, Projeto Brasileiro de Ensino de Física, o FAI, Física Auto-Instrutiva, e mais recentemente o GREF, Grupo de Reelaboração do Ensino de Física<sup>31</sup>. Destes o único que se preocupou em contemplar tópicos de FMC foi o GREF, “incorporando o modelo atômico de Bohr ao instrumental intelectual explicativo da Física escolar” (TERRAZZAN, 1994; p. 57).

Foi, entretanto, na década de 90, nos encontros destinados às pesquisas em ensino de ciências e/ou especificamente em ensino de Física, sobretudo no SNEF (Simpósio Nacional de Ensino de Física) que as discussões sobre as inovações para o currículo da Física do Ensino Médio, incluindo a inserção da Física Moderna e Contemporânea tomaram corpo. Segundo Salem e Kawamura (2007), essas pesquisas tiveram um crescimento considerado expressivo, a ponto de em 2005, no XVI SNEF ser criada uma área temática<sup>32</sup> especialmente para elas.

Mesmo que não faltem pesquisas recomendando a inserção da FMC e justificativas para tal, faltam condições reais para que isso aconteça efetivamente em sala de aula. Quando se trata dos obstáculos para a inserção da FMC no Ensino Médio, três são sempre apontados: o vestibular, os livros didáticos e a formação dos professores. Não cabe aqui uma profunda discussão sobre cada um desses obstáculos, mas por meio de uma análise mais superficial, observamos que esses obstáculos, ainda que em passos lentos, estão sendo vencidos.

O vestibular, por exemplo, considerado por muitas escolas como eixo norteador dos conteúdos, já há algum tempo contempla essa parte da Física. Tomamos com exemplo o vestibular da UFSC, que desde 1999 contempla tópicos de FMC. Acreditando ser essa uma das influências da Proposta Curricular de Santa Catarina de 1998 que também defende a introdução da FMC no Ensino Médio. Os conteúdos cobrados nesse vestibular estão divididos em cinco blocos, nesta ordem:

---

<sup>31</sup> Segundo este autor, com exceção do GREF, que editou seus volumes somente no início da década de 90, os outros três projetos datam do início da década de 70. Os dois primeiros projetos, PEF e PBEF, por diversas e diferentes razões, não chegaram a completar o material a ser produzido.

<sup>32</sup> Atualmente esse simpósio é dividido em 13 áreas temáticas, sendo que as duas últimas (12 - Física Moderna e Contemporânea e a Atualização Curricular e 13 - Ensino de Física e estratégias para portadores de necessidades especiais) foram inseridas no XVI SNEF que aconteceu em 2005 no Rio de Janeiro.

Mecânica, Termologia, Ótica e Ondas, Eletricidade e Eletromagnetismo e Noções de Física Moderna. Sendo este último dividido em quatro itens: Limites da Mecânica Clássica, Princípios da Mecânica Relativística, Efeito fotoelétrico e Dualidade Onda-Partícula.

Com relação aos livros didáticos, de acordo com a pesquisa de Alves (2000), podemos observar que, já na metade do século passado, alguns apresentavam conteúdos que dificilmente fariam parte dos livros didáticos atuais, entre eles itens relacionados com esta parte “mais atual” da Física. O que mais nos chamou atenção foi o livro de Francisco Alcântara Gomes Filho que, em seu último capítulo, trata, em 42 páginas, dos seguintes itens (reproduzidos conforme índice, apud PINHO ALVES, 2000; p. 14):

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oscilações elétricas;</li> <li>• Ondas eletromagnéticas;</li> <li>• Rádio Comunicação;</li> <li>• Radiofonia;</li> <li>• Televisão;</li> <li>• Condução dos sólidos nos gases;</li> <li>• Potencial explosivo;</li> <li>• Descargas nos gases rarefeitos;</li> <li>• Raios catódicos;</li> <li>• Oscilógrafos catódicos;</li> <li>• Microscópio eletrônico;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raio X;</li> <li>• Ampolas de raio X;</li> <li>• Raios Canais;</li> <li>• Emissão termo-iônica;</li> <li>• Triodos;</li> <li>• Efeito fotoelétrico;</li> <li>• Constituição de matéria;</li> <li>• Radioatividade;</li> <li>• Teoria da relatividade;</li> <li>• Teoria da matéria;</li> <li>• Teorias da Luz.</li> </ul>
---	--

Tabela I – Itens do último capítulo do livro de Física de Francisco Alcântara Gomes Filho.

Segundo Pinho Alves (2000), embora estes itens sejam tratados num nível superficial, eles permitem a discussão de assuntos atualizados, podendo proporcionar ao estudante o conhecimento de uma concepção da natureza diferente da ótica newtoniana, além de quebrar o paradigma determinista por meio dos tópicos da FMC. O número de livros que contemplavam essa parte da Física era muito reduzido. Entretanto, mais recentemente, sobre a influência das pesquisas e sobretudo do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio

(PNLEM)<sup>33</sup> do MEC, a maioria dos livros didáticos, ainda que, na maioria das vezes, de uma forma desconectada do resto da Física e apenas no último capítulo, passaram a contemplar a FMC.

Além disso, a preocupação e interesse com essa inclusão, muito bem defendida pelos documentos legais já citados, tem feito as instituições investirem em cursos de formação para o professores de Física, seja durante a formação em disciplinas curriculares nos cursos de licenciaturas ou depois, com cursos de especialização e cursos de curto prazo, enfatizando conteúdos relacionados com a FMC. Com isso temos um campo de estudos sobre esta temática que juntamente com a área de pesquisa em Ensino de Ciências vem consolidando-se aceleradamente em nosso país (Nardi, 2007). Segundo esse autor, isso pode ser detectado nos seguintes fatos: a diversidade de revistas hoje editadas no país, a criação de secretarias que se preocupam com o ensino em várias sociedades científicas, os eventos que vêm sendo realizados regularmente, a preocupação com a sistematização da produção da área na forma de dados e outros dispositivos. Obviamente estes feitos merecem críticas e devem ser melhorados, estão longe de um patamar desejável, principalmente no que diz respeito ao reflexo destes em sala de aula, mas são válidos como ponto de partida e incentivo para aqueles que, como eu, acreditam e apostam em uma consonância entre o que as pesquisas defendem e o Ensino de Ciências na sala de aula.

Entretanto, segundo Rezende Júnior (2006), na tentativa de se implantar um Ensino de Ciência focado nos documentos legais as dificuldades são inevitáveis, principalmente pela supervalorização de conteúdos específicos que não estão diretamente relacionados com o cotidiano do indivíduo.

Documentos obviamente carregam intenções, mas é preciso muito mais que isto para promover uma reforma que privilegie uma concepção tão ampla. Vontade política, aplicação de recursos e

---

<sup>33</sup> Implantado em 2004, o Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) prevê a universalização de livros didáticos para os alunos do ensino médio público de todo o país. A análise dos livros é feita por equipes de pareceristas, formadas por docentes, com qualificação mínima de mestrado, e pesquisadores e professores, com comprovada experiência acadêmica, didática e pedagógica das universidades públicas convidadas pela Secretaria de Educação Básica do MEC. Os primeiros livros analisados foram os das disciplinas de português e matemática, cuja distribuição iniciou em 2005. A primeira análise e escolha dos livros de Física aconteceu em 2008. (Informações obtidas no portal do MEC, acessado em 01/07/09)

pesquisas específicas permeiam o universo de necessidades, dentre outros (REZENDE JÚNIOR, 2006, p. 21).

Segundo Terrazzan (1992, 1994), a tendência da atualização do currículo de Física justifica-se pela influência crescente dos conteúdos contemporâneos para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como a necessidade de formar um cidadão consciente e participativo que atue nesse mesmo mundo. Com relação a essa questão, podemos encontrar nos PCNEM o seguinte registro:

É preciso discutir qual Física ensinar para possibilitar uma melhor compreensão do mundo e uma formação para a cidadania mais adequada. Sabemos todos que, para tanto, não existem soluções simples ou únicas, nem receitas prontas que garantam o sucesso. Essa é a questão a ser enfrentada pelos educadores de cada escola, de cada realidade social, procurando corresponder aos desejos e esperanças de todos os participantes do processo educativo, reunidos através de uma proposta pedagógica clara. É sempre possível, no entanto, sinalizar aqueles aspectos que conduzem o desenvolvimento do ensino na direção desejada. (BRASIL, 1999, p. 23).

No que diz respeito à abordagem metodológica, segundo Terrazzan (1994), têm sido consideradas três vertentes representativas para a introdução de FMC no ensino médio: exploração dos limites dos modelos clássicos; não utilização de referências aos modelos clássicos e escolha de tópicos essenciais.

Na primeira vertente, Gil e Solbes (1993) da Universidade de Valência, Espanha, propõem a exploração dos limites dos modelos clássicos, a fim de que o aluno possa entender a crise vivida pela Física Clássica no fim do século XIX e sua superação com o nascimento de uma nova concepção científica. A introdução ao estudo da Física Moderna, nesta perspectiva, baseia-se em quatro atividades como nos aponta Terrazzan (1994, p. 72):

A.1. Rever alguns aspectos das principais contribuições (inclusive as aplicações tecnológicas) do que é denominado Física Clássica (isto é, a Física construída, por exemplo, desde Galileo até Maxwell).

A.2. Formar a imagem do conceito de matéria compatível com a Física Clássica (particularmente, com relação aos conceitos de espaço, tempo, corpo e radiação.)

A.3. Reconhecer que a Física é construída a partir do que é denominado “senso comum da Física”, que não é capaz de resolver problemas relevantes. Reconhecer, ao mesmo tempo, que todos os físicos que vieram antes de Galileo, não possuíam o novo paradigma clássico.

A.4. Perceber que a Física Clássica conseguiu explicar praticamente todos os fenômenos conhecidos, constituindo-se num corpo coerente de conhecimento que falhou em uns poucos casos. Enumerar alguns destes problemas.

Acreditamos que essa vertente segue uma estrutura estabelecida pela tradição desde os antigos compêndios<sup>34</sup>. Como nos aponta Pinho Alves, já neste formato, os livros didáticos seguiam uma “estrutura racional e linear, demonstrando um crescer de dificuldade, visto que para saber o conteúdo “B” era necessário dominar antes o conteúdo “A”.” (PINHO ALVES, 2000; p. 12). Ao adotar essa vertente, o professor deve ter o cuidado para não “explorar” muito a Física Clássica a ponto de não sobrar tempo para abordar a FMC.

Vale lembrar que a maioria dos livros didáticos que contemplam a FMC fazem-no no último capítulo, além disso, muitos dos professores, por falta de uma formação adequada ou por opção, tornam-se reféns do livro didático. Dessa forma acontecerá com a FMC o que ainda acontece com o Eletromagnetismo, estando no último capítulo do livro ou como último conteúdo a ser abordado, é, na maioria das vezes, deixado de lado, seja pela falta de tempo, seja pela insegurança do professor, seja por considerar “complexo” para os alunos. A concepção de que Física é construída linearmente e cumulativa pode ser reforçada se estes cuidados não forem tomados. Com relação aos pré-requisitos para a FMC, obtemos na Proposta Curricular da Santa Catarina a seguinte observação:

A necessidade indiscutível de tratar de conhecimentos e teorias mais modernas, mesmo considerada a fragilidade dos conhecimentos de física clássica pelos alunos e também pelos

---

<sup>34</sup> Formato dos livros didáticos utilizados no século retrasado e até metade do século passado. Segundo Alves, é uma obra didática elaborada por um único autor. “Suas origens eram as notas de aulas preparadas por seus autores, que as organizavam com o passar do tempo, resultando num livro que contemplava toda a “Física Geral ou Física Clássica”” (ALVES, 2000; p. 10).

professores, mostra especialmente a impropriedade dos pré-requisitos fechados que, entre outras coisas, profíbem a física moderna e a teoria quântica, antes de se completar o aprendizado clássico. Na realidade, é preciso desenvolver, na didática específica da física, formas de atender à necessidade deste aprendizado. [...] Outra razão para se fazer um esforço de se dar um tratamento quântico do átomo e dos materiais, em física é a continuidade conceitual que se estabelece entre esta e a química, até porque os átomos químicos e os físicos são os mesmos. (SANTA CATARINA, 1998, p. 144).

Apesar desses detalhes, segundo Terrazzan (1994), tal proposta pode adequar-se a nossa realidade educacional, pois diferentemente da realidade espanhola, a maioria de nossas escolas ainda não contemplam esse assunto em seus programas.

Ao contrário desta, na segunda vertente, também analisada por Terrazzan (1994), Helmut Fischler e Michel Lichfeldt da Universidade livre de Berlim, Alemanha, argumentam que o uso de conceitos e modelos clássicos ou semiclássicos como referência para uma abordagem da formulação da Física Quântica interfere negativamente na conceituação mental elaborada pelos alunos. Esses autores apresentam cinco premissas básicas para introdução da Física Quântica no nível médio:

- I. Evitar referência à Física Clássica.
- II. Introduzir o estudo do efeito fotoelétrico utilizando as características dos elétrons e não dos fótons.
- III. Utilizar a interpretação estatística dos fenômenos observados, evitando usar descrições dualistas.
- IV. Introduzir a relação de incerteza de Heisenberg no início do estudo da Física Quântica.
- V. Evitar trabalhar com o modelo atômico de Bohr quando estiver utilizando o átomo de hidrogênio.

Terrazzan (1994) atenta para o fato do professor secundário de Berlim ter formação prévia sobre os conceitos de Física Quântica e aqueles que tiveram interesse em trabalhar nessa perspectiva foram treinados para isso oficialmente em serviço. O que está longe de acontecer no Brasil. Apesar disso, esse autor não defende o descarte imediato dessa proposta, pois explicita um elemento didático, importante. Ela parte da dificuldade que os alunos mostram em substituir e/ou conviver com conceitos de Física Quântica. Nessa medida, introduzir os novos conceitos já dentro de uma formulação mais



atualizada, desprovida de imagens presas aos conceitos clássicos, pode parecer razoável. (TERRAZZAN, 1994, p.78). Como este autor e Camargo (1996), acreditamos que a importância desta proposta está em levar a sério a mudança de paradigma, investindo a atenção em pesquisas específicas, a fim de tentar a superação desse obstáculo.

Finalmente, a terceira vertente, ainda analisada por Terrazzan (1994), é defendida por Arnold Arons (1990), da Universidade de Washington, E.U.A, situa-se numa zona intermediária em relação às anteriores. Consiste na escolha de temas para introduzir alguns conceitos de FMC. Arons propõe que poucos conceitos de Física Moderna devam ser ensinados no nível médio. O importante, em um curso introdutório de Física Moderna, é proporcionar aos alunos “alguma percepção” sobre conceitos como: elétrons, fótons, núcleos, estrutura atômica. Este pesquisador defende a busca de sustentação na Física Clássica para a abordagem de tópicos da Física Moderna. Com a opção de restringir o número de tópicos passíveis de discussão na escola média, Arons (1990) afirma que existem lacunas na programação escolar, pois sempre é preciso “deixar algo de fora” ao organizar-se um currículo. Na abordagem de tópicos de FMC, deve-se buscar na Física Clássica apenas o essencial para que o tópico proposto seja compreendido. De certa forma, a seleção de pré-requisitos permeia esta proposta.

Para Terrazzan (1994, p.81.), esta proposta pode ser um tanto perigosa, uma vez que permite a defesa de pré-requisitos sem uma análise crítica e corre-se o risco de produzir uma programação tipo “colcha de retalho”, sem a unidade necessária. Concordamos com este autor com relação ao cuidado que se deve tomar com os pré-requisitos e com a forma a qual o tema será escolhido e abordado. Vale ressaltar que a Física tradicionalmente abordada em nossas escolas, obedecendo à seqüência que se estabeleceu ao longo do tempo, mesmo sem abordar a FMC, sem esses cuidados, também fornece uma visão distorcida da Ciência Física e também não representa uma unidade. Além disso, de acordo com a Proposta Curricular de Santa Catarina (1998), é inútil pensar que se pode superar o ensino “tradicional”, simplesmente pela alteração nas ordens dos conceitos.

A perspectiva de ensino de FMC que estamos adotando neste trabalho está mais próxima da terceira vertente. Na qual abordaremos tópicos de FMC por meio de um tema específico, que, como já comentamos, é a “Nanociência e Nanotecnologia”. Acreditamos que a própria metodologia da IIR (FOUREZ, 1997) que utilizamos requer a

opção por uma situação-problema, que, no nosso caso, está diretamente ligada a um tema e possui recursos que previnem os problemas acima citados. Durante as pesquisas ou abertura de qualquer *caixa preta* (FOUREZ, 1997), bem como ao abordar qualquer conceito novo ou já conhecido por alguns alunos, o professor terá a oportunidade de fazer uma contextualização adequada e entre outros fatores utilizar a história da ciência e ainda abordar questões relacionadas com o fazer ciência, o que evitará a formação de uma concepção distorcida ou mudará a visão que a maioria dos alunos tem da Física.

De acordo com Ostermann e Moreira (2000), em síntese, pode-se verificar que, além de ser um tanto escassa a literatura a respeito de questões metodológicas sobre o ensino da FMC nas escolas, há várias divergências a respeito de que caminho deve ser seguido e há de se ter cuidados em cada um deles. Em particular, o papel das analogias clássicas para o entendimento dos conceitos modernos, a ênfase ou não em pré-requisitos e a abordagem histórica ou “lógica” são pontos que geram muitas discordâncias. (OSTERMANN e MOREIRA, 2000. p: 30.).

Terrazzan (1994) acredita que deva existir uma flexibilidade para a adoção de metodologias adequadas para cada tópico a ser abordado. É o professor que deve “refinar” a escolha metodológica de acordo com seu estilo e predileção. Nesse sentido, várias pesquisas têm sido realizadas no Brasil. Além das que já foram citadas, temos: Auvetti (1999), Chaves (2002) e Corrêa (2003), utilizando atividades com texto de divulgação científica; Silva (1994) pela discussão de paradoxos que colocaram a Física Clássica em dificuldades, como a radiação do corpo negro e a quantização da energia; Brockington (2005) a partir de uma seqüência didática que permitisse apresentar aos estudantes a dualidade onda-partícula, revelando assim características estranhas acerca da natureza da luz; Junior (2003) de forma integrada aos demais campos e aspectos da Física, tendo como referências textos com contextos, a concepção do conhecimento em rede e a aprendizagem a partir do desenvolvimento de competências e habilidades; Oliveira (2006) por meio de uma proposta metodológica com ênfase em CTS utilizando os raios X; Cima (2007) utilizando o tema: “Nanociência e Nanotecnologia” e outros.

A inovação do nosso trabalho não está no tema adotado. Como já foi comentado, Cima (2007) também elaborou uma proposta de ensino de FMC utilizando como tema central a Nanociência e Nanotecnologia, muito embora sua preocupação maior foi analisar as

dificuldades existentes na trajetória de uma proposta de Ensino de FMC até a sala de aula, tendo como principal foco os professores. A nossa preocupação localiza-se no interior da sala de aula, nos atores que fazem parte do processo de ensino-aprendizagem.

Acreditamos, portanto, que a maior contribuição deste trabalho está na metodologia que adotamos e principalmente na elaboração de uma *etapa zero* para o ensino da FMC no Ensino Médio. Não encontramos, na literatura, nenhuma pesquisa ou relato sobre a construção de alguma IIR para abordar tópicos de FMC. Nos próximos capítulos, explicitaremos a metodologia e a construção da nossa IIR.

### **2.2.1 Do Ensino de Física Moderna e Contemporânea para a Alfabetização Científica e Técnica: Um caminho possível**

Nas últimas décadas, os avanços científicos e tecnológicos têm despertado nos jovens interesse por temas relacionados com as Ciências. A Física, de um modo geral, tem contribuído bastante nesse avanço. Entretanto, como já comentamos anteriormente, é preocupante o modo como o Ensino de Ciências, particularmente a Física no Ensino Médio, não têm acompanhado esse desenvolvimento e cada vez mais se distancia do que os alunos se interessam e necessitam para serem considerados alfabetizados científica e tecnicamente.

Como vimos anteriormente, várias pesquisas relacionadas com a introdução da FMC no Ensino Médio já foram realizadas no Brasil; o baixo índice de escolas que contemplam a FMC no programa e efetivamente abordam essa parte da Física, não obstante, não refletem os resultados dessas pesquisas e não é ressonante com as sinalizações expressas nas leis, diretrizes, propostas, parâmetros e orientações curriculares. Desde 1996, a própria LDB já defendia que “a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina” (LDB, artigo 35, inciso IV), deveria ser uma das finalidades do Ensino Médio, de modo que, ao concluir esse grau de escolaridade, o educando demonstre, entre outros aspectos, o “domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna” (LDB, artigo 36, §1º, inciso I).

Dentro dessa perspectiva, tal lei só será cumprida e a ACT só será alcançada quando a FMC for efetivamente contemplada em nossas escolas. Pois, para entender e dominar alguns princípios tecnológicos que nossos alunos possuem acesso e contato direto, para ter maior

autonomia, capacidade de comunicar e responsabilidade frente ao uso e opção por certo equipamento tecnológico, os estudantes precisam saber alguns conceitos desta Física. Como podemos observar no texto abaixo extraído do PCN+ :

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e *lasers* presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores (BRASIL, 2002, p. 70).

Para Machado e Nardi (2008), a considerável repercussão da Física Moderna, sobre a sociedade, a Economia e a Cultura, justifica a inclusão de seus conhecimentos e princípios básicos na formação de pessoas alfabetizadas cientificamente.

As Orientações Curriculares para o Ensino Médio defendem a introdução desta parte da Física a partir do eletromagnetismo e ressaltam que temas relevantes e atuais merecem atenção, como a Nanotecnologia, além de outros de forte relação com aspectos sociais e ambientais.

De acordo com Terrazzan (1994), a física desenvolvida na escola média deve permitir aos estudantes pensar e interpretar o mundo que os cerca.

Nesse nível de escolaridade, devemos estar formando um jovem, cidadão pleno, consciente e, sobretudo, capaz de participação na sociedade. Sua formação deve ser a mais global possível, pois sua capacidade de intervenção na realidade em que está imerso tem relação direta com sua capacidade de leitura, de compreensão, de construção dessa mesma realidade. (TERRAZZAN, 1994, p. 39).

Segundo Auvetti (1999), a discussão sobre o papel da ciência física na sociedade não pode ser realizada sem o conhecimento da produção científica da atualidade.

A formação do indivíduo deve equilibrar-se entre a aquisição de conhecimentos especializados, decorrentes da sua profissão ou dos interesses particulares, e conhecimentos mais universais, mais amplos e abstratos, imprescindíveis para a sua participação na vida societária e exercício da cidadania. (AUVETTI, 1999, p. 22 e 23.).

Para o autor, o conhecimento dos conceitos e modelos da FMC insere-se nesses dois níveis formativos. Assim, torna-se indispensável para que o aluno perceba a verdadeira importância desta ciência e, principalmente, para alcançar a ACT. Acreditamos que, além de pertinente, o tema – Nanociência e Nanotecnologia – também contribuirá para a promoção desses dois níveis. Portanto, é essencial que nossos alunos conheçam este tema e sua potencialidade, uma vez que este promete uma revolução tecnológica de enorme abrangência.



### CAPÍTULO III

## 3. ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E TÉCNICA E AS ILHAS INTERDISCIPLINARES DE RACIONALIDADE

O que é necessário para que um indivíduo possa ser considerado alfabetizado científica e tecnologicamente? Quais os objetivos da ACT? O que é uma IIR e como pode ser construída? Essas são algumas das questões que abordaremos neste capítulo para que no próximo possamos elaborar uma proposta de IIR que realmente promova a ACT. Partindo da concepção de ciência adotada por Fourez, detalhamos a noção de ACT segundo este autor. Enfatizamos os objetivos que tal noção visa a proporcionar, as competências que um indivíduo deve adquirir para ser considerado alfabetizado científica e tecnologicamente. Além disso, apresentaremos a metodologia das IIR e as etapas sugeridas por Fourez para alcançar os objetivos da ACT.

### 3.1 Alfabetização Científica e Técnica

Segundo Fourez (1997), a expressão ACT surge como uma metáfora à alfabetização do final do século XIX. Época em que saber ler e escrever torna-se fundamental tanto para os patrões, por proporcionar mão de obra mais qualificada, quanto para os empregados, por oferecer certa emancipação. Essa expressão designa um tipo de saber, de capacidade ou de competência que, em nosso mundo técnico científico, corresponderá ao que foi a educação no século passado (FOUREZ, 1997, p.15).

Assim, Fourez (1997) propõe a ACT como estratégia pedagógica e epistemológica para tratar o ensino de ciências. Ele considera que a ACT é definida por um contexto na qual os saberes científicos procuram gerar alguma autonomia, possibilitando que o aprendiz tenha capacidade para negociar suas decisões, alguma capacidade de comunicação e algum domínio e responsabilidade diante de situações concretas. Para este autor, uma pessoa alfabetizada cientificamente se caracteriza principalmente em termos de atitudes e não somente de conhecimentos. Ou seja, ela possui um entendimento geral dos fenômenos naturais básicos, interpretando as informações relacionadas com a ciência e com a tecnologia, dentro de um contexto tal que lhe seja possível discutir e tomar posição frente a estes assuntos.

Uma alfabetização científica e técnica dever passar por um ensino de ciências em seu contexto e não como uma verdade que será um puro fim nela mesma. Alfabetizar técnico-cientificamente não significa que se dará cursos de ciências humanas no lugar de processo científicos. Significará sobretudo que se tomará consciência de que as teorias e modelos científicos não serão bem compreendidos se não se sabe o porquê, em vista de que e para que foram inventados (FOUREZ, 1997, p.81).

Assim, defende que “o que deve ser objeto de uma ACT não é, então, uma série de conhecimentos particulares precisos, mas um conjunto global que permita (ao indivíduo) orientar-se e compreender-se no nosso universo” (FOUREZ, 1997). De acordo com o autor, o indivíduo “alfabetizado” deixaria de ser um receptor passivo e passaria a ser um indivíduo com certa *autonomia* no mundo científico e tecnológico no qual ele está inserido.

Acreditamos que a ACT contribuirá não só para desenvolver capacidades científicas, mas também para melhorar a atitude e aumentar o interesse pela ciência, de modo que, além de indivíduos alfabetizados científica e tecnologicamente, tenhamos mais e melhores cientistas, e ainda mais e melhores professores para o ensino das ciências. Para Fourez (1997, p. 80), entre as várias razões para promover a ACT, destacam-se especialmente as razões humanistas, que dizem respeito a autonomia do indivíduo e suas possibilidades de atuar e se comunicar, e razões econômicas, ligadas à formação de engenheiros e de uma mão de obra qualificada.

No entendimento de Auler e Delizoicov (2001), a ACT pode ser concebida segundo duas perspectivas, a reducionista e a ampliada. Na perspectiva reducionista, reduz-se a ACT ao ensino de conceitos, ignorando a existência de alguns mitos que contribuem para uma leitura da realidade de forma ingênua. Nesta perspectiva, a ciência seria considerada neutra e desprovida de valores. A visão de mundo oferecida por esta perspectiva considera a ciência como única e privilegiada, em que o conhecimento científico é traduzido como infalível e sem contradições. Já na perspectiva ampliada, acontece a busca pela compreensão das interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, associando ao ensino de conceitos o entendimento crítico da realidade. A ACT, entendida sob essa perspectiva, considera o conceito de tecnologia no sentido de negação da visão tecnocrática e do determinismo tecnológico. Propondo ressaltar, nos processos educativos, aspectos sociais, econômicos, culturais e do mundo do



trabalho, indissociáveis dos aspectos técnicos que influenciam as pesquisas em ciência e tecnologia.

É importante, portanto, que ao objetivar a ACT, o professor diferencie essas duas perspectivas para saber de onde e como partir e o que fazer para alcançar seu objetivo. A ACT que almejamos está na perspectiva do sentido amplo, que já vem sendo discutida e defendida por Fourez desde a década de noventa. Segundo este autor, essa perspectiva “persegue geralmente três fins: a autonomia do indivíduo (componente pessoal), a comunicação com os demais (componente cultural, social, ético e teórico), e certo manejo do meio (componente econômico)” (FOUREZ, 1997, p. 61).

Diante destas premissas, partindo das características básicas necessárias para um indivíduo ser considerado alfabetizado científica e tecnicamente, julgamos interessante apresentar os objetivos e alguns critérios desejáveis para esta promoção.

### **3.1.1 Os objetivos da ACT**

Para melhor traçar esses objetivos, faz-se necessário apontar alguns critérios necessários para uma pessoa ser considerada alfabetizada científica e tecnicamente. Essa pessoa deve ter uma série de condutas, atitudes e habilidades que a caracteriza dessa forma. Inicialmente, apresentaremos as características citadas por Fourez (1997, p. 25), por ser nosso referencial e também “pelo fato de que as quatorze características por ele consideradas contemplam as dos demais autores e permitem uma análise mais específica da alfabetização científica.” (LORENZETTI<sup>35</sup>, 2000, p.57). Essas características foram propostas pela National Science Teacher Association dos Estados Unidos (NSTA) em uma declaração, na década de 80, sobre o que se entendia por ACT naquele contexto. Segundo a NSTA (apud FOUREZ, 1997, p. 25), uma pessoa alfabetizada científica e tecnicamente é capaz de:

- Utilizar conceitos científicos e integrar valores e saberes para tomar decisões responsáveis na vida cotidiana;

---

<sup>35</sup> Em sua dissertação de mestrado, partindo do pressuposto de que a alfabetização científica é uma das metas do ensino de Ciências, faz uma análise bibliográfica sobre as características necessárias para um indivíduo ser cientificamente instruído.

- Compreender que a sociedade exerce um controle sobre as ciências e as tecnologias, assim como as ciências e tecnologias marcam a sociedade;
- Compreender que a sociedade exerce um controle sobre as ciências e as tecnologias por meio das subvenções que ela concede;
- Reconhecer tanto os limites quanto a utilidade das ciências e tecnologias para o progresso do bem-estar humano;
- Conhecer os principais conceitos, hipóteses e teorias científicas e é capaz de aplicá-los;
- Apreciar as ciências e as tecnologias pela estimulação intelectual que elas suscitam;
- Compreender que a produção de saberes científicos depende ao mesmo tempo de processos de pesquisa e de conceitos teóricos;
- Reconhecer a diferença entre resultados científicos e opiniões pessoais;
- Reconhecer a origem da ciência e compreender que o saber científico é provisório e sujeito às mudanças segundo o acúmulo de resultados;
- Compreender as aplicações tecnológicas e as decisões implícitas em sua utilidade;
- Ter saber e experiência suficiente para apreciar o valor da pesquisa e do desenvolvimento tecnológico;
- Extrair de sua formação científica uma visão do mundo mais rica e interessante;
- Conhecer as fontes válidas de informações científicas e tecnológicas e recorrer a elas na tomada de decisões;
- Ter certa compreensão da maneira como as ciências e as tecnologias foram produzidas na história.

Acreditamos que essas características ainda se apresentam de uma forma bastante atual e devem ser consideradas no processo de ensino-aprendizagem de ciências como metas para promover a ACT. Para Fourez (2003), a ACT visa, sobretudo, à formação, à inserção e à capacidade criativa do cidadão na sociedade. “A perspectiva da alfabetização científica pode-se expressar em termos de finalidades humanistas, sociais e econômicas” (Fourez, 2003, p. 113).

- *Os objetivos humanistas* visam à capacidade de se situar em um universo técnico científico e de poder utilizar as ciências para

decodificar seu mundo, o qual se torna então menos misterioso (ou menos mistificador). Trata-se ao mesmo tempo de poder manter sua autonomia crítica na nossa sociedade e familiarizar-se com as grandes ideias provenientes das ciências. Resumindo, trata-se de poder participar da cultura do nosso tempo.

- *Os objetivos ligados ao social:* diminuir as desigualdades produzidas pela falta de compreensão das tecnociências, ajudar as pessoas a se organizar e dar-lhes os meios para participar de debates democráticos que exigem conhecimentos e um senso crítico (pensamos na energia, na droga ou nos organismos geneticamente modificados). Em suma, o que está em jogo é uma certa autonomia na nossa sociedade técnico-científica e uma diminuição das desigualdades.
- *Os objetivos ligados ao econômico e ao político:* participar da produção de nosso mundo industrializado e do reforço de nosso potencial tecnológico e econômico. A isso se acrescenta a promoção de vocações científicas e/ou tecnológicas, necessárias à produção de riquezas.

De acordo com o autor, de uma forma mais sintética, a ACT tem como fim pedagógico a formação da autonomia, da capacidade de comunicação, de um certo domínio e da capacidade de negociação. Nas palavras do autor:

Eu consideraria alguém como **alfabetizado científica e tecnologicamente** quando seus saberes promoverem uma certa **autonomia** (possibilidade de **negociar** suas decisões frente às pressões naturais ou sociais), uma certa **capacidade de comunicar** (encontrar as maneiras de dizer), e um **certo domínio e responsabilidade**, frente a situações concretas. (FOUREZ, 1997, p. 62, grifos do autor)

Partindo dessa premissa, Fourez (1997) propõe alguns critérios que considera essenciais para a promoção de uma ACT. Para o autor, esses critérios comportam conhecimentos e habilidades que levam o indivíduo a saber quando e a qual especialista recorrer, a negociar e usar os saberes para tomar decisões, a identificar quando é necessário conhecer certas noções (caixas-pretas), a criar modelos simples para

uma determinada situação, a usar metáforas e comparações, a diferenciar nas decisões os aspectos técnicos, éticos e políticos, e criar teorizações para situações. São eles:

- **O bom uso dos especialistas:** De acordo Fourez (1997), em nossa sociedade é impossível viver sozinho e conhecer tudo. Em determinadas situações, faz-se necessária a ajuda de algum especialista para o conhecimento e entendimento desta. O indivíduo deve saber qual especialista recorrer, também se comportar perante este e saber quando é necessária uma segunda opinião.
- **O bom uso das caixas-pretas:** Segundo Fourez (1997), toda questão científica ou racional utiliza o que os físicos chamam de caixa-preta. Trata-se de uma representação de uma parte do mundo que se aceita em sua globalidade sem considerar útil examinar os mecanismos de seu funcionamento. O autor apresenta duas maneiras para fazer bom uso das caixas-pretas. Uma delas se relaciona com a necessidade de saber quando e como é interessante ou não abrir uma caixa-preta, no sentido de se buscar o seu funcionamento com a ajuda ou não de especialistas. A outra se relaciona com a noção e com o uso dos pré-requisitos, no sentido de se questionar sobre o que falta conhecer de uma teoria ou de um modelo para utilizá-lo inteligentemente em certas situações (FOUREZ, 1997, p. 65).
- **O bom uso de modelos simples:** Esta habilidade está relacionada com a abertura das caixas-pretas. A partir da abertura das caixas-pretas, busca-se construir modelos simples, mas pertinentes para o uso no contexto considerado. Segundo Fourez (1997, p. 68), essa simplificação não é considerada inconveniente, mas sim como uma necessidade.
- **O uso e a invenção de modelos interdisciplinares:** Como a resolução e entendimento de um problema concreto torna-se impossível com o uso de uma disciplina apenas, Fourez (1997) propõe a construção, por meio de um projeto, uma modelização adequada, suficientemente simples, porém utilizando os conhecimentos provenientes de diversas disciplinas e da vida cotidiana. A essa construção dá o nome de Ilha de racionalidade.
- **O bom uso das metáforas ou comparações:** Segundo o autor, é importante mostrar aos alunos a eficácia e riqueza, em contexto adequado, das metáforas socialmente estabilizadas que

chamamos de conceitos científicos. Fazer isso não implica em depreciá-las. É importante mostrar aos alunos que, historicamente, as metáforas foram produtivas e que as ignorar hoje seria insensato.

- **O bom uso das traduções:** Vinculado ao uso da metáfora, está o da tradução. Para se estudar um problema, é sempre necessário traduzi-lo de um contexto para outro, de uma perspectiva para outra, de um marco para outro e de um paradigma de uma disciplina para o paradigma de outra.
- **O bom uso da negociação:** Desenvolver-se em um mundo científico e técnico é aprender uma arte que os cientistas e técnicos têm desenvolvido de maneira específica: a da negociação. Essas negociações não envolvem só pessoas, mas o conhecimento, normas e técnicas. Para o autor, o aprendizado dessas negociações é essencial para que se possa ter o sentimento de certa autonomia no mundo científico-técnico em que vivemos.
- **O bom uso da articulação entre saberes e decisões:** Segundo Fourez (1997), estar cientificamente alfabetizado é saber como utilizar os conhecimentos quando se deve tomar uma decisão, sem enfocar apenas os conhecimentos que têm valor, mas todos os conhecimentos possíveis, inclusive os culturais.
- **O bom uso dos debates técnicos, éticos e políticos:** Para o autor, a ACT deverá ensinar a diferença entre a técnica, a ética e a política, isso implica em saber a diferença entre os debates técnico, ético e político, evitando assim a formação de uma cultura tecnocrática.

O autor reforça que a ACT deve passar pelo viés individual e coletivo. Assim, a competência de uma sala de aula, de um grupo ou até mesmo da sociedade, não corresponde à soma das competências individuais, mas à maneira como estas se articulam e se completam. Para o autor, a escola só tem considerado o individual, enquanto que, em uma perspectiva de sociedade, o mais importante é o coletivo. Dessa forma, a escola deve proporcionar aos alunos a experiência de participar de debates, para que a diversidade das competências do grupo “consiga se escutar mutuamente e instaurar uma cultura de comunicação como de deliberação que integre nos debates de sociedade o que tanto os especialistas cientistas quanto os diversos usuários têm a oferecer” (FOUREZ, 2003, p. 114).

Há, portanto, em relação a alfabetização científica e técnica, uma polarização entre duas atitudes educativas: a que promove a formação do indivíduo e reforça o seu poder, e a que visa a fortificar a cultura cidadã das coletividades. Uma não anda sem a outra, mas pode-se perguntar se ocorre com frequência que um ensinamento seja pensado com o objetivo de criar uma cultura de grupo que capacite uma coletividade para deliberar mecanismos sociais e políticos de decisões científicas e técnicas (ou outros tipos de decisões que implicam ciências ou tecnologias). (FOUREZ, 2003, p. 114)

Assim a ACT também contribuirá para a integração do conhecimento científico-tecnológico à cultura, diminuindo a distância entre esse conhecimento e a cultura das pessoas apontada, entre outros autores, por Souza (2000).

A atividade desenvolvida pelos cientistas, que vivem uma cultura científico-tecnológica, está longe de ser compreendida pela maioria das pessoas. A presença dos objetos tecnológicos na vida das pessoas, mesmo que os percebam, não significa que façam parte de sua cultura. Vê-los não significa compreender a ciência envolvida na fabricação ou funcionamento do objeto tecnológico. O mesmo vale para seus mecanismos internos e externos (SOUZA, 2000, p. 238).

Para este autor, “aprender ciências envolve um processo de (...) ‘enculturação’ e olhar os conhecimentos e as práticas para incorporar esta cultura à Educação Básica” (idem anterior, p. 242). Para o desenvolvimento desta cultura, é necessário que os estudantes aprendam a solucionar problemas e a tratar das necessidades desta, utilizando os conhecimentos científico, tecnológico e também do cotidiano. Para que isso ocorra, “o aprendizado dos alunos e dos professores e seu contínuo aperfeiçoamento devem ser construção coletiva, num espaço de diálogo propiciado pela escola, promovido pelo sistema escolar e com a participação da comunidade” (Brasil, 1998, p.7).

Coerente com a concepção de Fourez (1997), para o ensino de ciências, o PCN de Física concebe que:

O aprendizado não deve ser centrado na interação individual de alunos com materiais instrucionais, nem se resumir à exposição de alunos ao discurso professoral, mas se realizar pela participação ativa de cada um e do coletivo educacional numa

prática de elaboração cultural. É na proposta de condução de cada disciplina e no tratamento interdisciplinar de diversos temas que esse caráter ativo e coletivo do aprendizado afirmar-se-á. (Brasil, 1998, p.7e 8)

E é nessa mesma perspectiva que Fourez (1997) propõe, para a busca de uma ACT, a construção de uma *Ilha Interdisciplinar de Racionalidade* (IIR), um modelo utilizado para representar situações cotidianas, como sendo uma estratégia pedagógica e epistemológica para lidar com o ensino, capaz de cruzar saberes oriundos de várias disciplinas e conhecimentos da vida cotidiana.

### **3.2 As Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade**

É certo que a maioria dos professores tem como principal objetivo do seu trabalho conseguir que seus alunos aprendam da melhor forma possível. Por mais limitações que um professor possa ter (falta de tempo para preparar suas aulas, falta de material para consulta, pouco domínio da matéria, pouca didática, ambiente de trabalho, desânimo por causa da desvalorização profissional entre outros), quando ele entra em classe, tem consciência de sua responsabilidade em proporcionar aos alunos um bom ensino. Apesar disso, saberá ele fazer um bom ensino, de modo que os alunos aprendam melhor, contribuindo para a formação deles? É evidente que nem todas as ações didáticas que visam a facilitar a compreensão e o aprendizado do estudante são bem sucedidas.

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (1998), o ensino de Ciências e em especial o de Física deveria promover a articulação de toda uma visão de mundo, de uma compreensão dinâmica do universo, mais ampla do que nosso entorno material imediato, capaz, portanto, de transcender nossos limites temporais e espaciais. Dessa forma, espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. No entanto, segundo esse mesmo documento:

O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em

detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas. Apresenta o conhecimento como um produto acabado, fruto da genialidade de mentes como a de Galileu, Newton ou Einstein, contribuindo para que os alunos concluam que não resta mais nenhum problema significativo a resolver. Além disso, envolve uma lista de conteúdos demasiadamente extensa, que impede o aprofundamento necessário e a instauração de um diálogo construtivo (BRASIL, 1998, p. 22).

A resolução de problemas em sala de aula, por exemplo, tem se tornado muito desconecta da realidade. Podemos observar uma grande dificuldade dos alunos de se motivarem pelos problemas propostos pelos professores, uma vez que estes “amarrados” em suas disciplinas acabam comprometendo a realidade do problema. Segundo Pietrocola et al (2000), um dos principais motivos que levam os alunos a se desinteressarem pelos conteúdos científicos é o fato dos professores tratarem como verdadeiros problemas científicos os exercícios propostos pelos livros didáticos.

Fourez (1997) defende que a educação científica seja vista sob uma nova perspectiva, por meio de projetos. Dessa maneira propõe que seja abordado na escola um novo tipo de conhecimento. No lugar de desenvolver um currículo voltado para um “amontoado” de matérias que se apresentam disciplinarmente, sugere que os alunos participem de atividades nas quais se objetiva a construção de um projeto envolvendo os conhecimentos disponíveis, oriundos das diversas áreas da educação formal e do saber popular. O autor chama esse modelo de Ilha Interdisciplinar de Racionalidade, definindo-a como sendo uma invenção de uma modelização adequada para uma situação específica. Dentro dessa concepção, a construção de modelos é importante, pois permite uma visão mais global da situação abordada possibilitando uma melhor compreensão desta.

Ao se construir uma IIR, surgirão questões específicas ligadas a conhecimentos determinados, que poderão ou não ser respondidas, conforme a orientação do projeto. O domínio desconhecido ao qual



essas questões estão relacionadas é denominado “*caixas pretas*”. A decisão de abrir ou não estas caixas, ou seja, de aprofundar ou não determinado conhecimento, cabe à equipe executora, que pode ser constituída por profissionais de uma empresa, um grupo de professores de uma escola, grupo de alunos e professores – ou um indivíduo. Para o desenvolvimento dessa metodologia das IIR em sala de aula, cria-se um contexto problemático, em que os estudantes são tomados como membros de uma equipe executora de projetos.

A seguir apresentaremos os tipos de IIR, as etapas da IIR propostas por Fourez (1997), e discutiremos questões relacionadas com a **Interdisciplinaridade** e com a **Negociação** entre as partes constituintes de uma Ilha Interdisciplinar de Racionalidade, principalmente entre professor e aluno.

### 3.2.1 Tipos de Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade

De acordo com Fourez (1997, p. 69), a construção de uma IIR é importante, seja para compreender as tecnologias e as noções que nos rodeiam, seja para atuar frente a elas. Assim, de acordo com este autor, podemos apontar dois tipos de IIR que devem ser escolhidos de acordo com a situação e o projeto. São elas:

- IIR em torno de um projeto ou uma situação concreta  
Trata-se de construir uma representação das ações possíveis ligadas a uma situação-problema ou uma situação em que um componente tecnológico é o foco principal. Elas geralmente envolvem questões práticas ou tecnológicas. Ex.: estudo de um equipamento, projeto da instalação elétrica de uma residência, elaboração de um manual para um determinado equipamento, etc.
- IIR em torno de uma noção  
De acordo com Fourez (1997), essa IIR se aproxima das perspectivas científicas tradicionais. Trata-se de proporcionar uma representação multidisciplinar cientificamente correta em torno de uma noção. Não se trata de inventar uma nova representação, mas sim utilizar representações já estruturadas ao longo do tempo.  
Em alguns casos, pode estar diretamente ligado a um projeto; em outros, parece-se mais com um enriquecimento cultural diretamente ligado a uma ação. Ex.: noção de energia, indigestão, contágio, efeito estufa, etc.

Para Schmitz (2004), é importante distinguir as ilhas que giram em torno de uma noção, das que giram em torno de uma situação concreta ou de uma tecnologia.

A primeira corre o risco de valorizar em demasia os aspectos culturais envolvidos, já a segunda corre o risco de se tornar uma análise puramente técnica. (...) o professor deverá prestar atenção nestes detalhes, para que os debates não se limitem a apenas uma das dimensões (SCHMITZ, 2004, p. 27).

Fourez (1997) aponta que é possível perceber, no estudo do programa e da estrutura interna, pontos comuns aos dois tipos de ilha. Inclusive as etapas para construção são as mesmas para esses dois tipos. O que pode mudar é o tempo, as questões envolvidas, as caixas-pretas, os especialistas, os professores envolvidos e o resultado final. Tudo isso deverá ser pensado pelo professor na etapa zero, a qual será abordada no próximo tópico.

### **3.2.2 As etapas das Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade**

Para construir uma IIR, seja em torno de uma noção, seja de um projeto, seja de uma tecnologia, Fourez (1997) propõe algumas etapas que servem para delimitar o trabalho, permitindo alcançar sua finalidade. Segundo esse autor, as etapas são pistas metodológicas, não para serem seguidas ao pé da letra, mas sim para adaptá-las e modificá-las de acordo com as particularidades de cada situação. A construção de uma IIR pode ser adaptada aos diferentes níveis de ensino através do aprofundamento diferenciado de cada etapa e conseqüentemente de cada caixa preta. Assim o tempo de duração de cada etapa é determinado pela equipe que desenvolve o projeto a partir da situação-problema, juntamente com o grupo de professores envolvidos, em função do número de aulas destinadas à aplicação da IIR e da própria situação. As etapas são as seguintes:

1 – Fazer um Clichê da situação estudada

Fourez (1997, p. 113) entende por Clichê, o conjunto de representações (corretas ou erradas) que a equipe investigada tem acerca da situação estudada. Trata-se de dar uma descrição espontânea que será o ponto de partida da investigação. Para isso, a equipe se interrogará por meio de várias questões, desde as mais gerais até as mais precisas.

Podemos citar alguns dos exemplos de perguntas levantados pelo autor: O que é? Para que serve? Como funciona? Quem utiliza esta técnica? Que vantagens possuem? Quais as precauções?

Acreditamos que os questionamentos dessa etapa dependerão da situação-problema, tipo de IIR adotada e principalmente do que se espera como produto final. De qualquer forma:

Para refinar a primeira e espontânea representação de uma problemática, é oportuno utilizar **uma tabela de investigação do tipo sistemática**. Concretamente, procuraremos listar um certo número de parâmetros evidenciando suas **interações**, tendo como objetivo chegar a um **panorama da situação** de que se trata. Assim, evitaremos colocá-lo, a priori, nesse ou naquele campo disciplinar particular ou em um quadro muito restrito (MAINGAIN, 2000, p. 6, grifos do autor).

Fourez (1997) recomenda que antes ou durante a investigação, os resultados desses questionamentos sejam distinguidos por meio de três categorias: os que são admitidos por todos, os que são objetos de debate e os que são juízo de valor.

Concordamos com Bettanin (2003) que aponta podermos considerar esta primeira etapa como uma problematização inicial. Uma vez que ambos visam a despertar o aluno para o tema que será abordado, investigando seus conhecimentos prévios e possibilitando uma primeira discussão acerca do tema. Além disso, segundo Fourez (1997), nesta etapa, podemos ainda optar pela exposição de um técnico ou ainda pela desmontagem de um aparelho a estudar, quando for o caso. Para o autor, é importante que, durante os questionamentos, o professor já possa perceber e distinguir o que é admitido por todos, o que é objeto de debate e o que é juízo de valor.

## 2 – O panorama espontâneo

Trata-se de aprofundar o contexto do clichê. Assim como a primeira, essa etapa é bastante espontânea, na medida em que se refere aos recursos próprios da equipe. Ainda não há apelo aos especialistas. Ela pode ser constituída pelas seguintes ações:

- Lista de atores envolvidos

Consiste na listagem de atores, que podem ser grupos sociais ou indivíduos, e que estão envolvidos com a situação estudada. Para

Fourez (1997), é o projeto vinculado à construção da IIR que permitirá selecionar os atores que participarão do projeto.

- Busca de normas e condições impostas pela técnica

Trata-se do levantamento das normas de utilização do ponto de vista técnico ou comercial, bem como das normas definidas pela cultura.

Podem-se distinguir as normas impostas por certos poderes (legislativo, a direção de uma empresa, a pressão da concorrência, etc.), as que se impõem sem que se possam saber quem as impôs (por exemplo, um hábito cultural rejeitando os ferros de passar muito pesados ou muito feios) ou também aqueles que estão inscritos na realidade física ou na estrutura do aparelho (por exemplo, um ferro de passar de certa potência necessitará de fusíveis e linhas de certo tipo). (FOUREZ, 1997, p. 114)

- Lista dos jogos de interesse e das tensões

São levantados questionamentos a respeito das vantagens e desvantagens, valores e escolhas relacionadas ao problema proposto pelo projeto. Fourez (1997) aponta os seguintes questionamentos: Quais as vantagens e inconvenientes desta técnica? Quais são os valores que se solicita a propósito de sua utilização? Quais os argumentos usados por vendedores para negociá-lo? Quais são, por exemplo, as variantes que fazem que se prefira um determinado tipo de técnica?

- Lista das caixas-pretas

Para Fourez (1997), as “caixas negras” designam objetos de estudos possíveis. A equipe executora que elegerá os mais importantes, o que se chamará “abrir uma caixa negra”. Esta lista tem como critério de escolha o próprio contexto e o projeto que define o objeto de estudo. “Assim, no caso do ferro de passar, a lista de caixas pretas pertinentes não será a mesma para o vendedor, para o usuário, ou para o engenheiro da fábrica onde se produz” (FOUREZ, 1997, p. 115).

Convém, igualmente, para aprofundar um questionamento interdisciplinar, de ajeitar a **lista das « caixas-pretas »**, ou seja, os objetos de estudo possíveis, a **lista das disciplinas**, quer dizer,

os conhecimentos modelados que convêm mobilizar para a abertura das caixas pretas e a **lista dos especialistas** invocados pela situação-problema que tratamos. Sobre a base da listagem dos parâmetros, será preciso definir as prioridades no nível das investigações e sobretudo fechar a pesquisa em função dos objetivos que serão dados. É uma questão de negociação entre sócios (envolvidos) do procedimento. (MAINGAIN, 2000, p. 6, grifos do autor).

Assim, é preciso decidir quais caixas-pretas que poderão ser abertas, para ter um estudo mais aprofundado e chegar ao produto final.

- Lista de bifurcações

“Corresponde ao momento em que um ator social, por exemplo, um construtor, um vendedor ou um usuário, é levado a eleger uma estratégia em detrimento de outra” (FOUREZ, 1997, p.115). Segundo esse autor, muitas destas seleções são técnicas, porém algumas têm uma dimensão ética e política.

- Lista de especialistas e de especialidades envolvidas

Consiste em verificar quais os especialistas e especialidades que podem auxiliar no entendimento do problema estudado. Tem por objetivo aprofundar as informações necessárias e corrigir as representações equivocadas dos membros das equipes. Cada caixa-preta pode corresponder um especialista.

### 3 – Consulta aos Especialistas e às Especialidades

Em determinadas situações, os membros da equipe que executam um projeto não conseguem dar conta de todas as questões pertinentes à execução. Nesse caso, existe a necessidade de consultar especialistas para esclarecer as dúvidas existentes. Para essa escolha, deverá ser usada a lista citada anteriormente.

“É a equipe executora que decidirá quais especialistas serão consultados. Para a escolha dos especialistas, é fundamental observar dois critérios: a situação e o projeto a ser desenvolvido e os objetivos escolares” (BETTANIN, 2003, p. 41). Essa é uma etapa longa, pois está associada à abertura das caixas-pretas, isso quer dizer que o sucesso dessas aberturas dependerá da boa escolha dos especialistas.

#### 4 – Ida à Prática

Esta etapa visa ao aprofundamento da situação estudada. A forma como isso acontecerá será definida pelo projeto e pela equipe executora.

Segundo Fourez (1997), há várias maneiras de se ir à prática, uma delas, já comentada na etapa anterior, seria por meio de consulta a especialistas, outra possibilidade seria desmontar um equipamento, ou ainda por meio da leitura de um folheto explicativo de algum equipamento.

#### 5 – Abertura Aprofundada de Algumas Caixas-Pretas e Descobertas de Princípios Disciplinares que Sustentam uma tecnologia

Nesta etapa, pode-se, a maneira de uma investigação mais fundamental, aprofundar algum aspecto da situação estudada, com o rigor de uma disciplina científica. Com a ajuda de um especialista, podem-se abrir algumas caixas-pretas. Porém, segundo Fourez (1997), nem todas as caixas-pretas interessantes são de competência de uma ciência da natureza, pode-se consultar também uma especialidade vinculada às ciências humanas. Cada estudo é selecionado em função do contexto, do projeto, dos produtores e destinatários da IIR.

A abertura das caixas-pretas poderá ser do tipo de uma exposição disciplinar clássica (às vezes magistral), relativa a um princípio disciplinar da técnica estudada. “É o momento do trabalho disciplinar na interdisciplinaridade” (FOUREZ, 1997, p.118). Por exemplo, o físico pode modelizar certos aspectos de uma tecnologia, pode também propor noções que considera como pré-requisitos.

A efetivação do panorama e a abertura das caixas-pretas, recorrendo às disciplinas, devem permitir ultrapassar as representações espontâneas iniciais e **elaborar**, no termo do procedimento, **uma representação mais afinada e sobretudo adequada em relação ao problema que se deseja esclarecer no projeto e no contexto definidos**. Trata-se aqui da efetivação da representação interdisciplinar ou ilha interdisciplinar de

racionalidade tal como é. (MAINGAIN, 2000, p. 7, grifos do autor).

Para Fourez (1997), cada estudo é relacionado em função do contexto, do projeto, dos produtores e dos destinatários da ilha de racionalidade.

## 6 – Esquematização Global da Tecnologia

Esta etapa pode consistir, especialmente, na elaboração de uma síntese do objeto ou de um esquema da organização social da tecnologia. “É uma síntese parcial e objetivada da IIR produzida” (FOUREZ, 1997, p. 119). Pode ser um resumo ou uma figura a partir da qual se possa construir uma representação teórica da situação.

## 7 – Abrir Algumas Caixas-Pretas sem a Ajuda de Especialistas

Ninguém é capaz de compreender todos os mecanismos técnicos sem a ajuda de especialistas. Porém, construímos explicações e representações para situações do cotidiano, mesmo sem conhecer todos os conceitos científicos e técnicos envolvidos. Essa improvisação é necessária para todo mundo e é também a prática de todos os investigadores. Ela produz um sentimento de autonomia frente ao cotidiano.

No nosso cotidiano, existem situações que exigem de nós uma tomada de decisão concreta que envolve vários fatores interdisciplinares, com possibilidades de consulta a especialistas. Como nem sempre temos especialistas disponíveis, devemos incentivar nos alunos a construção de IIR para poder resolver tais situações de maneira autônoma. (BETTANIN, 2003, p. 42)

Desta forma, a construção de modelos aproximados deveria ser um dos objetivos educacionais a serem perseguidos na escola. A partir de explicações iniciais, podemos trabalhar de forma a aprofundar o modelo inicialmente criado.

Formar os alunos a atuar “como os cientistas” é ensinar-lhes a raciocinar o melhor possível para atuar “racionalmente” em contextos precisos. É necessário então saber proceder à abertura

de certas caixas pretas “com os meios disponíveis” (quer dizer, concretamente, reunindo as informações das quais se dispõem em uma situação determinada). Os critérios que servirão para a avaliação dos saberes estão também ligados à ação. (FOUREZ, 1997, p. 120)

Para o autor, essa ação não precisa estar diretamente relacionada com uma ação prática, econômica ou social. Situar-se em uma cultura e nela comunicar-se com os demais também implica em uma ação.

## 8 – Síntese da IIR Produzida

Nesta última etapa, deve-se sintetizar o resultado final da IIR construída. Segundo Fourez (1997), para elaborar a síntese dois tipos de questionamentos são particularmente pertinentes:

Em que medida o que nós estudamos nos ajuda a negociar com o mundo tecnológico enfocado? O que ganhamos em termos de uma certa autonomia dentro de um mundo científico-tecnológico e na sociedade em geral? De que forma os saberes obtidos nos ajudam a discutir com maior precisão as decisões a tomar? De que maneira isto nos fornece uma representação do mundo e de nossa história que permite que nos situemos e nos comuniquemos com os outros? (FOUREZ, 1997, p.121).

Estas etapas devem levar o indivíduo a desenvolver uma ACT. “Esta almeja como objetivo a formação de indivíduos autônomos, que saibam dialogar com seus pares e que adquiram domínio de conhecimento para tomar decisões responsáveis frente às situações do seu cotidiano” (BETTANIN, 2003, p. 44).

Algumas destas etapas podem ser suprimidas, outras poderão ser incluídas ou ainda modificadas, de maneira que o processo possa ser adaptado ao projeto que está sendo desenvolvido. Nesse sentido, Schmitz (2004) propõe a etapa zero que é destinada a uma organização inicial da IIR e antecede as etapas supracitadas.

### 3.2.2.1 A Etapa Zero

Tradicionalmente, no âmbito escolar, o professor elabora e executa as atividades a partir do que ele acredita que deve ser aprendido,



os alunos apenas “aprendem” e, em seguida, “aplicam” o que foi aprendido na solução de um problema apresentado pelo professor. Já de acordo com a metodologia da IIR o professor propõe um problema e são os alunos que identificam o que precisam aprender, eles mesmos são responsáveis pelo que aprendem e pela aplicação do conhecimento.

Desta forma, na metodologia das IIR, a situação é mais complexa, uma vez que os alunos interferem nos rumos do projeto, principalmente no conteúdo a ser estudado. Exigindo do professor uma nova postura e muito empenho e atenção, principalmente na organização inicial. Segundo Shmitz (2004), o maior cuidado é para que esta organização não direcione, em demasia, as atividades previstas.

Nesta fase preliminar, o professor elabora a Situação-Problema levando em consideração as condições de aplicabilidade do projeto, com relação ao material didático, recursos humanos, fontes de informação, a questão tempo, técnicas a serem adotadas, quando e como realizar a avaliação ou a conscientização dos objetivos propostos, entre outros. Se o professor não tem conhecimento sobre o assunto abordado na Situação-Problema, é interessante que ele se familiarize, pesquisando na internet, lendo artigos, livro ou consultando alguns especialistas, como já foi citado anteriormente (SCHMITZ, 2004, p. 77).

Assim como esse autor, consideramos essa etapa indispensável para a realização da IIR. Porém, estamos cientes de que a boa escolha do tema e da situação-problema não garantem êxito no desenvolvimento do projeto. Principalmente, pela flexibilidade das etapas que segue a IIR. Uma boa reflexão inicial permitirá ao professor vislumbrar algumas das possibilidades que podem acontecer e programar-se para enfrentá-las da melhor forma possível.

Segundo Fourez (1997), a boa execução do projeto depende da capacidade do professor de negociar as relações entre os objetivos do projeto e aqueles da sua disciplina específica e, além disso, os critérios sobre o corpo de conhecimento a ser trabalhado são determinados no interior do projeto e devem satisfazer as seguintes questões: para o que e para quem ele se destina.

### 3.3 Uma questão de Interdisciplinaridade

Segundo Fourez (1995), o tema interdisciplinaridade se tornou popular a partir do momento em que foi percebida a dificuldade em abordar uma situação real com a utilização de apenas uma disciplina. Para enriquecer essa abordagem, “parcial e em geral muito estreita” (FOUREZ, 1995, p 134) o autor aponta a necessidade de uma aproximação entre as disciplinas para o entendimento da realidade. Apontando duas filosofias da interdisciplinaridade: A interdisciplinaridade como busca de uma “superciência” e a interdisciplinaridade como prática particular.

Para o autor, espera-se, da primeira perspectiva, que uma abordagem interdisciplinar construa uma nova representação do problema, que será mais adequada. Acreditando que o conjunto de algumas disciplinas juntas fornecerá um enfoque original e mais interessante que dará origem a uma “superciência”.

Contudo, ao tentar assim construir um enfoque interdisciplinar de um problema particular, apenas se reproduzem as fases pré-pragmáticas de um estudo. Centrado sobre uma exigência exterior a qualquer disciplina conhecida, reúnem-se todos os conhecimentos que se possui para abordar o problema. (...) Todavia, semelhante abordagem interdisciplinar não cria uma espécie de “superciência”, mais objetiva do que as outras: ela produz apenas um novo enfoque, uma nova disciplina; em suma, um novo paradigma. Assim, ao se tentar criar uma superabordagem, consegue-se somente criar um novo enfoque particular. Foi desse modo, aliás, que se criaram muitas disciplinas particulares ou especializadas (FOUREZ, 1995, p. 135).

Já na segunda perspectiva, abandona essa idéia de “superciência”. Neste ponto de vista, a interdisciplinaridade não se destina a criar um novo discurso que se situaria para além das disciplinas particulares, mas seria uma “prática” específica visando à abordagem de problemas relativos ao cotidiano. Visando à resolução de um problema concreto, mas, ao mesmo tempo, indo além dessa resolução, envolvendo questões políticas e éticas.

A grande diferença entre a primeira e a segunda perspectiva consiste em que a primeira, ao pretender relacionar diferentes disciplinas em um processo supostamente neutro, mascara todas

as questões “políticas” próprias à interdisciplinaridade: a que disciplinas se atribuirá maior importância? Quais serão os especialistas mais consultados? De que modo a decisão concreta será tomada? E assim por diante. Pelo contrário, na segunda perspectiva, a interdisciplinaridade é vista como uma prática essencialmente “política”, ou seja, como uma negociação entre diferentes pontos de vista, para enfim decidir sobre a representação considerada como adequada tendo em vista a ação. Torna-se evidente, então, que não se pode mais utilizar critérios externos e puramente “racionais” para “mesclar” as diversas disciplinas que irão interagir. (FOUREZ, 1995, p. 137)

Em nossa IIR, adotaremos a segunda perspectiva, pois acreditamos que, na prática, para se representar adequadamente uma situação concreta, devemos utilizar tantas disciplinas quanto for necessário e, principalmente, por considerarmos o teor político presente na prática da interdisciplinaridade. Acreditando que “o trabalho interdisciplinar, no âmbito exato, consiste essencialmente na utilização de disciplinas para a construção de um saber sobre uma situação que é problemática” (FOUREZ et al, 2002, p. 06).

Em sua dissertação de mestrado, Bettanin (2003) escreve sobre a interdisciplinaridade nos PCN. Segundo a autora, a noção de interdisciplinaridade encontrada nesse documento está mais voltada para a segunda perspectiva apontada por Fourez (1995), visto que tem como prioridade a escolha de conteúdos próximos das experiências dos alunos e aplicáveis na resolução de problemas cotidianos. O que pode ser observado no texto abaixo extraído do próprio documento:

Na perspectiva escolar, a interdisciplinaridade não tem a pretensão de criar novas disciplinas ou saberes, mas de utilizar os conhecimentos de várias para resolver um problema concreto ou compreender um determinado fenômeno sob diferentes pontos de vista. Em suma, a interdisciplinaridade tem uma função instrumental. Trata-se de recorrer a um saber diretamente útil e utilizável para responder às questões e aos problemas sociais contemporâneos. (BRASIL, 1999, p. 23)

Concordamos com Bettanin (2003) quando escreve que, na concepção deste documento, a interdisciplinaridade deve ir além de uma mera justaposição de disciplinas. Tornando-se um instrumento que possibilita a aplicação dos conhecimentos das disciplinas em atividades ou projetos de estudo, pesquisa e ação. De acordo com a autora, para

desenvolver um trabalho interdisciplinar que venha ao encontro do que os PCN defendem e que esteja de acordo com a segunda perspectiva apontada por Fourez (1995), pode-se sugerir a ACT por meio da IIR.

Fourez (2003, p. 122) aponta uma questão seguidamente debatida entre os professores de ciências: “vai-se ensinar aos alunos como conduzir abordagens interdisciplinares, ou vai-se limitar a ensiná-lhes as disciplinas?”

Segundo o autor, para os defensores da primeira opção, começar cedo as práticas interdisciplinares é fundamental para que os alunos percebam como as disciplinas encontram seu sentido, fornecendo uma abordagem parcial, mas rigorosa da situação estudada. Em contrapartida, os que pensam que é preciso se ater a uma abordagem disciplinar restrita destacam a importância que pode ter a aquisição de bases sólidas em ciências antes de abordar problemas complexos.

Eis uma questão delicada, pois mesmo sendo defensores da primeira opção, acreditamos ser impossível, dentro da realidade escolar brasileira, trabalhar sempre de uma forma interdisciplinar, inclusive construir uma IIR para cada problema proposto. Diante dessa situação, acreditamos que cada professor deve, da melhor forma possível, abordar as especificidades de sua disciplina e estar atento aos problemas propostos, se este é relevante para os alunos e se relevante é o tratamento real do problema, ou seja, se a realidade do problema é muito comprometida quando analisado com o “olhar” de uma disciplina apenas, então é essa a hora de utilizar a interdisciplinaridade.

Além da metodologia da IIR, exigir o uso da interdisciplinaridade, por tratar de problemas reais, o próprio tema acerca do qual nossa situação-problema está relacionada também exige esse tratamento interdisciplinar. Segundo Silva (2003):

As nanotecnologias, portanto, exigem, por natureza, uma operação interdisciplinar, pois têm o potencial de revolucionar amplamente vários campos e trazem consigo maiores chances de êxito para dar um salto por cima das aparentes fronteiras que dividem as ciências e fazê-las consiliente<sup>36</sup>, reuni-las num todo complexo segundo princípios e terminologias idênticos, desde a

---

<sup>36</sup> Segundo a autora, essa expressão é do entomólogo americano Edward O. Wilson (1999), que utiliza originalmente para referir-se à necessária unidade das ciências. A consiliência desempenha um papel epistemológico importante, no sentido de ser um elemento dinâmico de referência a uma maior proximidade entre diferentes classes de fenômenos explicados de maneira distinta, como uma tentativa de dispor de um princípio integrador de todos os nossos conhecimentos.

física, a química, a matemática e as ciências naturais até as mais reticentes ciências sociais e humanas, procurando conjugar enfoques e tradições distantes sobre a realidade contemporânea (SILVA, 2003, p. 86).

Segundo Schmitz (2004), a Ilha de Racionalidade (IR) assume as características da Interdisciplinaridade, no sentido restrito quando ela busca a criação de modelos apropriados que se servem das várias disciplinas, considerando os mais variados aspectos mediante uma negociação, objetivando um produto final. Para o autor, a interdisciplinaridade no sentido mais restrito, implica numa negociação e numa maior integração dos conhecimentos abordados devido à presença de um produto final compartilhado. Assim, a forma a qual o professor irá lidar com essa negociação resultará em uma negociação frouxa ou numa negociação compromissada. Para este autor, na negociação frouxa, as decisões são tomadas sem justificativas ou sem adotar critérios que dizem respeito diretamente à representação formal compartilhada e as escolhas estabelecem as condições de contorno, mas não definem o produto final. Já na negociação compromissada, acontece justamente o contrário. As decisões estão voltadas para a representação formal compartilhada, adotando como critérios as condições de contorno estabelecidas.

Entre estes dois modelos, a compromissada é a negociação almejada para a metodologia da IIR. Para essa negociação é desejável uma nova postura do professor. Além de tomar algumas atitudes específicas o professor deverá instigar a participação dos alunos, de modo que estes assumam efetivamente o papel de um membro da equipe executora do projeto. É neste sentido que abordaremos a negociação, com enfoque na participação do professor e do aluno.

### **3.4 A negociação**

Segundo Camargo (1996), em nossa sociedade se difunde culturalmente a convicção equivocada de que os professores são e devem ser os únicos agentes existentes na sala de aula, de que os alunos são sujeitos passivos e de que a escola estabelece simplesmente o cenário do processo de ensino. Analisando as relações existentes em sala de aula, este autor confirma a afirmação, de muitos outros pesquisadores, de que “partindo da realidade verificada na maioria das escolas brasileiras, a tendência pedagógica predominante é a tradicional”.

Seria um palco comportado, onde a maioria ouve e um sujeito, o detentor do conhecimento, tido como professor, pratica sem o menor constrangimento um cansativo monólogo. Nesta vertente, qualquer conflito deve ser eliminado para que a aprendizagem seja “eficiente e rápida” (CAMARGO, 1996, p. 31).

Entretanto, para o autor, o clima e o palco necessário para o desenvolvimento do pensamento em sala de aula seria obtido no viés proposto por Vygotsky.

A criança, ao trazer consigo um aparato respeitável de conhecimentos, tendo o professor como mediador, possibilitaria o compartilhamento dessas experiências, gerando, assim, um ambiente amplamente favorável para circular o conhecimento. Seria um palco aberto, organizado, onde os atores e a platéia praticariam o ato de aprender (CAMARGO, 1996, p. 32).

Dentro desta perspectiva, o papel do professor precisa sofrer uma mudança, ele não pode ser apenas transmissor do conhecimento, muito menos ter exclusividade nesse processo. De acordo com SCHMITZ (2004), o professor deve adotar características que produzam reflexos no relacionamento entre escola, professores, alunos e no processo de ensino-aprendizagem como um todo. Com relação a essa questão, faz o seguinte comentário:

O professor deve ser capaz de ajudar o aluno a analisar um determinado assunto sob vários aspectos e, ao mesmo tempo, relacionar os conteúdos com experiências pessoais e o contexto no qual o conhecimento será aplicado. Isto significa que, do ponto de vista interdisciplinar restrito, o professor deve ajudar os alunos a buscarem os conhecimentos do senso comum e das várias disciplinas, para construir uma representação de uma situação concreta, onde os alunos *negociam* o grau de participação de cada disciplina e os conhecimentos abordados, de acordo com o contexto da situação-problema e do produto final solicitado. (SCHMITZ, 2004, p. 59).

Schmitz (2004, p. 61) faz um levantamento de algumas atitudes e modos de ação do professor mediador, voltadas para a IIR. Veja na tabela abaixo:

Professor Mediador	
Atitudes	
Pesquisadora	Conhece o aluno. Descobrir como desafiar e motivar o aluno.
Questionadora	Priorizar o “perguntar” em oposição ao “informar”. Propor questões e problemas que promovam um conhecimento novo a partir do conhecimento já existente.
Flexibilidade	Não se submeter a procedimentos rígidos. Adaptar-se às circunstâncias do processo. Não permitir um “laissez-faire” <sup>37</sup> .
Modos de ação	
Problematizador	Transformar a situação-problema em um problema significativo para os alunos. Contextualizar a situação-problema.
Interdisciplinar	Usar os conhecimentos do senso comum. Usar os conhecimentos disciplinares. Fazer negociar a participação destes conhecimentos com relação à situação-problema e ao produto final.
Dialético	Promover a comunicação oral e escrita do aluno. Promover o debate técnico, ético e político. Promover o discurso do senso comum e científico.

Tabela II – Atitudes e modos de ação do professor mediador.

Para Fourez (1997), aprender a negociar é essencial para que se possa ter o sentimento de certa autonomia no mundo científico-técnico em que vivemos, pois como já foi comentado, a negociação não envolve somente pessoas, mas o conhecimento, normas e técnicas. Para o autor, em uma negociação que leve a ACT, é fundamental que o professor tenha:

---

<sup>37</sup>Expressão francesa que se refere a uma filosofia econômica que defendia a existência de mercado livre nas trocas comerciais. Fourez utiliza a expressão quando defende que na negociação, embora flexível, nem tudo é aceitável. Assim, o professor não pode permitir um “Laissez-faire”.

- Autonomia para manter uma relação com os conhecimentos teóricos, não de reverência e dependência a receitas prontas, mas sim crítico e pragmático. Reconhecer e buscar informações sobre a sua prática docente, antes de tomar decisões.
- Domínio com relação aos recursos didáticos e com relação aos conhecimentos próprios da sua disciplina.
- Comunicação necessária para um trabalho em equipe na busca dos objetivos da ACT. Demonstrando conhecimento sobre o assunto e adequando a linguagem para cada situação.

Com relação à participação dos alunos na negociação, Fourez (1997) deixa explícito que a mesma deve acontecer nos seguintes momentos:

- No grau de participação de cada disciplina (p.106);
- Ao decidir sobre a importância que será dada às informações colocadas pelos especialistas (p.109);
- Ao decidir o tempo de duração de cada etapa (p.111).

Além destas, Schmitz (2004, p. 51) defende que os alunos também devem fazer parte da negociação no momento de:

- Determinar a quantidade e a escolha das caixas-pretas a serem abertas.
- Escolher os especialistas a serem consultados.
- Determinar o tipo do produto que a IR irá produzir.
- Fazer recortes da situação-problema.
- Efetuar a formação das equipes.
- Definir e distribuir as atividades exercidas pelas equipes.

Para que os alunos e professores possam ter uma negociação compromissada entre eles e com o saber, é preciso definir, a priori, o que é negociável e que estabelece um compromisso com a situação-problema, para isso se faz necessário considerar “quem, onde está sendo realizado o projeto e para quem, como e quando será apresentado o produto final” (SCHMITZ, 2004, p. 40).

Quando se pensa na negociação, entra em cena uma questão que tem sido bastante controversa: a avaliação. Repensá-la é imprescindível, principalmente em se tratando de mudar a relação dos professores e alunos com os conhecimentos e com as formas de ensiná-los e aprendê-los. Neste sentido, apresentaremos uma proposta que acreditamos se adequar melhor à metodologia da IIR.



### 3.4.1 A Avaliação: Uma proposta

O termo avaliação ainda tem causado medo nos alunos. O anúncio de que a avaliação será marcada, geralmente é respondido com suspense e espanto, acompanhado por alguma expressão do tipo: Prova? Já professor? Longe de ser uma simples caricatura, essa ainda é a verdadeira realidade. Certamente, pela forma a qual ela é tratada pelos professores. Para alguns, essa avaliação, a prova, tem sido utilizada como único instrumento para aprovação ou reprovação.

Muito mais do que simplesmente atribuir nota ao aluno, a avaliação deve subsidiar o professor na análise do desempenho deste aluno, do seu próprio desempenho e de todo o processo escolar. De acordo com Hernández (1998), se uma proposta de ensino, como é o caso da proposta de Fourez para a ACT, em que pressupõe uma elaboração do conhecimento, a partir da relação das fontes, com a informação que os alunos já possuem, às vezes de maneira fragmentada outras equivocadas, a avaliação deverá possibilitar essa reconstrução. Com isso, o papel da avaliação passa a fazer parte do próprio processo de aprendizagem, e o “papel do professor consistirá em organizar, com um critério de complexidade, as evidências nas quais se reflita o aprendizado dos alunos, não como um ato de controle, mas sim de construção de conhecimento compartilhado.” (HERNANDEZ, 1998, p. 92)

Embora a própria metodologia da IIR exija uma avaliação constante do processo de ensino-aprendizagem, julgamos importante, para acompanhar e avaliar esse processo, durante a aplicação da IIR, adotar as três fases de avaliação apresentadas por Hernandez (1998, p. 94). Segundo esse autor, pode-se distinguir três fases no processo de avaliação, as quais devem estar presentes, “não como uma fórmula, mas sim como uma forma de diálogo do professor com o conhecimento que os alunos vão construindo, e de como evidência pública que lhes permite aprender uns dos outros” (1998, p. 94). São elas: *inicial, formativa e recapitulativa*.

A *Avaliação Inicial* consiste no primeiro momento da avaliação, em que pretende-se detectar os conhecimentos que os estudantes já possuem quando começa o curso ou estudo de um tema. Com ela, os professores podem posicionar-se diante do grupo para planejar melhor seu processo de ensino. Segundo o autor esta avaliação é recomendável

se for inserida num modelo de ensino e aprendizagem que se estruture a partir do conhecimento de base dos estudantes, como é o caso da IIR, em que a primeira etapa tem como ponto de partida a descrição espontânea dos alunos acerca da situação estudada, assim, neste caso o professor poderá realizar esta avaliação durante a primeira etapa. O professor poderá aproveitar as questões utilizadas para fazer o clichê e tentar recolher evidências sobre as formas de aprender dos alunos, seus conhecimentos prévios, assim como, seus erros e pré-concepções. Além de servir como ponto de partida, as informações obtidas aqui terão grande valor para o planejamento posterior.

Acreditamos que, se o número de alunos for muito grande, o professor poderá encontrar algumas dificuldades para realizar essa avaliação, principalmente por conta do tempo disponível em sala de aula e do tempo disponível para analisar esta etapa. Partindo do princípio que alguns alunos possuem concepções semelhantes e apresentam as mesmas dificuldades, sugerimos que o professor promova um diálogo com os mesmos. De modo que estes possam responder as questões levantadas, bem como apontarem outras, e o professor possa anotar as explicações no quadro negro e/ou solicitar que um ou mais alunos fique responsável por anotar as respostas, as dúvidas e sugestões da classe.

*A Avaliação Formativa*, segundo o autor, não tem a finalidade de controlar e qualificar os estudantes, mas, sim ajudá-los a progredir no caminho do conhecimento, a partir do ensino que se ministra e das formas de trabalhos utilizadas em sala de aula. Implica, para os professores, uma tarefa de ajuste constante entre o processo de ensino e o de aprendizagem para se ir adequando a evolução dos alunos e para estabelecer novas pautas de atuação em relação às evidências sobre sua aprendizagem.

Acreditamos que esta segunda fase deve nortear o trabalho do professor, pois lhe permite uma análise constante dos problemas enfrentados pelos alunos, dos resultados produzidos, do processo de aprendizagem e dos objetivos não alcançados, para então alcançar o objetivo final. Para auxiliar nessa e na próxima fase da avaliação, sugerimos que o professor solicite que cada aluno tenha um caderno ou bloco de anotações, onde eles farão um relato de cada aula, relatando a experiência vivida em cada etapa, cada atividade feita na classe ou extra-classe, bem como as dúvidas encontradas e a forma a qual foi suprida. O que mais adiante será denominado, segundo Hernandez (1998), de portfólio.

A *Avaliação recapitulativa*, de acordo com Hernandez (1998), se apresenta como um processo de síntese de um tema, um curso ou um nível educativo, permitindo reconhecer se os estudantes alcançaram os resultados esperados, adquiriram algumas das destrezas e habilidades propostas, em função das situações de ensino e aprendizagem planejadas. Deve servir aos professores para avaliar sua própria tarefa e o progresso ou as dificuldades dos alunos. Acreditamos que este tipo de avaliação poderá se conciliar muito bem com a nona etapa da IIR, em que é feito o teste da representação construída.

Além dessas fases, Hernandez (1998) propõe a utilização de portfólios para um processo de avaliação contínuo.

A utilização de portfólio como recurso de avaliação é baseada na idéia da natureza evolutiva do processo de aprendizagem. O portfólio oferece aos alunos e professores uma oportunidade de refletir sobre o progresso dos estudantes em sua compreensão da realidade, ao mesmo tempo em que possibilita a introdução de mudanças durante o desenvolvimento do programa de ensino. Além disso, permite aos professores aproximar-se do trabalho dos alunos não de uma maneira pontual e isolada, como acontece com as provas e exames, mas, sim, no contexto do ensino e como uma atividade complexa baseada em elementos e momentos de aprendizagem que se encontram relacionados (HERNANDEZ, 1998, p.99).

O autor define portfólio “como um continente de diferentes classes de documentos que proporciona evidências do conhecimento que foi sendo construído, das estratégias utilizadas para aprender e da disposição de quem o elabora em continuar aprendendo” (HERNANDEZ, 1998, p. 100). Segundo este autor o que particulariza o portfólio enquanto modalidade de avaliação é o processo constante de reflexão, de contraste entre as finalidades educativas e as atividades realizadas para sua consecução, para explicar o próprio processo de aprendizagem e os momentos-chave nos quais o estudante superou ou localizou um problema.

Para o autor avaliar um portfólio não é mais difícil do que avaliar e qualificar o saber que se explicita num exame, num ensaio, num trabalho de pesquisa ou num projeto, ainda que possa ser mais trabalhoso pela quantidade e diversidade de informações que recolhe. O portfólio tenta abordar algumas problemáticas relacionadas à representação do conhecimento elaborado pelos alunos, ao mesmo

tempo em que introduz outras que requerem mudanças com respeito à situação atual de formação dos professores, à perspectiva sobre o ensino e a aprendizagem, ao papel dos alunos, à interação docente, à definição dos conteúdos e a sua relação com as atividades, à atitude investigadora na sala de aula e outros.

O professor deverá deixar claro para os alunos, como eles serão avaliados. De acordo com Schmitz (2004) poderá ser: avaliado o material produzido pelos alunos, individual ou coletivamente; observado o grau de participação deles nas atividades; solicitado relatório das participações dos especialistas ou resumo, entre outros. E acreditamos que tudo isso poderá fazer parte do portfólio. Assim, o professor deverá deixar claro para os alunos e pra ele mesmo qual é o objetivo do portfólio e o que deve compor o mesmo.

E se, além disso, os professores envolvidos considerarem necessário a aplicação de uma prova<sup>38</sup>, sugerimos que isso aconteça na última etapa e que seja uma única prova para todas as disciplinas, portanto, elaborada em conjunto com todos os professores envolvidos para que possa incluir algumas questões interdisciplinares. Como não podemos fugir dos números, no final, teremos uma média composta pelas três fases da avaliação, incluindo o portfólio com todas as atividades desenvolvidas ao longo das etapas, o relatório final e se necessário uma prova. Cabe ao professor decidir como será feita essa média, e se for ponderada, qual avaliação pesará mais.

Entre as mais variadas formas de avaliação acreditamos que essa apontada por Hernandez (1998) é a mais adequada à proposta da IIR. Como nos aponta Schmitz (2004), no caso particular da IIR, é importante adotar um sistema de avaliação e acompanhamento dos alunos que não exija muito tempo, tanto dos professores quanto dos alunos para não comprometer seu desenvolvimento. E como podemos perceber, essa proposta de Hernandez (1998) se adapta bem as etapas da IIR.

---

<sup>38</sup> No anexo seis apresentamos 50 questões, em sua grande maioria de FMC, que poderão ser contempladas em uma prova que poderá ser aplicada ao final da nossa IIR. Selecionamos questões que permitissem avaliar os objetivos pedagógicos da ACT, incluindo o aprendizado dos tópicos de FMC. As questões são passíveis de alterações e devem ser selecionadas de acordo com os tópicos abordados durante a aplicação da IIR. Além disso, é desejável que os professores que fizeram parte deste projeto se reúnam para elaborar outras questões que contemplem as demais disciplinas.

## CAPÍTULO IV

### 4. EM DIREÇÃO A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E TÉCNICA

Apresentamos, neste capítulo, uma proposta de encaminhamentos didático-metodológicos para o desenvolvimento de uma IIR para o ensino da FMC no Ensino Médio, visando à ACT. Desenvolvemos a análise da nossa pesquisa, apresentando as considerações sobre: a) as possíveis participações dos professores e dos alunos durante a aplicação da IIR elaborada; b) os recursos que poderão ser utilizados e, principalmente; c) sobre os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea priorizados.

#### 4.1 Uma Ilha Interdisciplinar de Racionalidade para o Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

Conforme comentado e justificado anteriormente, para atualizar o currículo de Física e promovermos a ACT, pensamos em elaborar uma IIR para abordar tópicos de FMC no Ensino Médio, tendo como tema central a Nanociência e a Nanotecnologia. Como vimos, a importância na discussão desse tema está justamente na necessidade de conhecer as aplicações e implicações, além de definir e decidir o que é aceitável e tolerável, para quem, e assim por diante.

A construção da IIR exige um empenho inicial do professor, uma reflexão sobre cada etapa, sobre as possibilidades e os caminhos que podem ser traçados em cada uma das bifurcações durante as etapas propostas. Esse empenho é essencial, não para estabelecer os caminhos, uma vez que são estabelecidos pela equipe executora do projeto, mas, principalmente, para pensar em quais situações e como deverá atuar para que atinja sua finalidade, sem direcionar, em demasia, as atividades previstas.

#### 4.2 Etapa Zero: Pensando nas possibilidades, traçando alguns caminhos

Como vimos no capítulo três, esta etapa é fundamental para a elaboração e aplicação de uma IIR, mas não garante seu sucesso. Todo empenho do professor pode ser pouco ou em vão se, durante a aplicação, pretender ser muito diretivo ou ainda se a situação problema elaborada não provocar a motivação e o interesse dos alunos.

Muito mais do que pensar nas possibilidades, o professor deverá pensar no tema, nos conteúdos abordados, para quem, por quê e como eles serão ensinados, nos recursos que poderão ser utilizados, no contexto, no produto final e principalmente na situação-problema, que consideramos como sendo o “coração” da IIR. Assim, acreditamos que, neste momento de decisões, a elaboração da situação-problema é a parte que exige mais atenção, empenho e criatividade do professor.

Após a escolha do tema, pesquisamos as possíveis aplicações da Nanociência e Nanotecnologia para elaborarmos uma situação-problema que pudesse motivar e instigar os alunos, chamar-lhes a atenção e, principalmente, apresentar-lhes algum significado. Como pode ser visto nos artigos do CD de apoio (acessar “Artigos Nano”), especificamente no artigo seis, além de todas as aplicações que temos atualmente, pesquisas apontam para uma variedade ainda maior.

Entre os problemas que têm provocado muita preocupação em grande parte da sociedade, está a contaminação da água de rios, lagos e mares e a falta de água potável. Segundo Rogers (2008), até a metade deste século, pelo menos três quartos da população do planeta poderá enfrentar escassez de água. Para esse autor, o problema está relacionado com o próprio aumento da população, com as mudanças climáticas e com o despejo de poluentes nas fontes. Essa é uma situação que ultrapassa os laboratórios e, de uma forma geral, todos os setores da sociedade, afetando-a completamente, pois as implicações são para todos.

Estuda-se a possibilidade da utilização de *nanopartículas* para filtrar e reaproveitar águas impuras e despoluir a água de rios ou lagos contaminados. Em suma, trata-se de nanopartículas magnéticas que, ao serem despejadas na água, ligam-se a certas impurezas, como o óleo, por exemplo, e, ao serem retiradas da água por um campo magnético, carregam junto tais impurezas. Assim, optamos por uma situação que envolvesse essa possibilidade, acreditando ser a mais próxima e significativa para a maioria dos alunos.

Outra possibilidade que também julgamos interessante para elaboração de uma IIR está relacionada com a utilização de nanopartículas em cremes e protetores solar, que já é uma realidade. Entretanto, acreditamos que, de acordo com o público alvo, esta última pode não ser uma situação tão *problematizadora*<sup>39</sup> (DELIZOICOV,

---

<sup>39</sup> Como já comentamos, a situação problema deve gerar todos os passos seguintes. Assim, consideramos de suma importância que ela provoque uma

1982) quanto à primeira, que, como comentado, envolve toda a sociedade, independente de classe, cor, religião, grau de escolaridade ou idade. A seguir, apresentaremos detalhes da situação problema, incluindo os elementos desta situação.

#### **4.2.1 A Situação-Problema**

Conforme afirma Pietrocola et al (2003), a análise de situações extraídas do cotidiano apresenta dificuldades de ordem conceitual, metodológica, prática e didática e exige um tratamento interdisciplinar para não perder seu significado. Pela ótica disciplinar, obtemos apenas representações idealizadas, por vezes, exatas e engessadas, que, no mundo real, não têm serventia alguma, pois não permitem ações e intervenções práticas e eficientes.

Para a aplicação da IIR, faz-se necessária a criação de um contexto problemático. De acordo com Pietrocola et al (2003), tal contexto deve ser caracterizado por meio de alguns atributos, de maneira que seja:

1. Percebido pelos alunos como um problema;
2. Adaptado ao nível de conhecimento dos alunos;
3. Suficientemente instigador para que os alunos sintam necessidade de abordá-lo;
4. Executável no intervalo de tempo disponível;
5. Passível de abordagens multidisciplinares;
6. Percebido com alguma importância extraclasse.

Além destas, Schmitz (2004), após analisar as situações-problemas, que podem ser discutidas no âmbito escolar, apresentadas por Fourez (1997), apresenta uma sétima característica. A situação-problema deve envolver princípios, valores e normas implícitas ou explícitas.

Diante do exposto, após optarmos por uma situação que envolvesse a aplicação da nanotecnologia para retirar poluentes da água de rios ou lagos, formulamos o problema: Qual a viabilidade do uso de nanopartículas para despouir a água de um rio?

---

problematização inicial. No sentido de permitir ao professor ou organizador ouvir e questionar, entender e desequilibrar os outros participantes, nesse caso, não apenas no momento inicial, mas durante todo o processo, desafiando-os a passar para as etapas seguintes. Ao mesmo tempo, deve permitir ao aluno, compreender o significado da proposta e pensar sobre a realidade que o cerca.

Acreditamos, pelo que já foi abordado no item anterior, que essa situação contempla todos os atributos listados acima. Sendo uma situação que requer a construção de uma representação das ações possíveis ligadas ao problema levantado acima e tendo uma aplicação tecnológica como foco principal, nossa proposta será uma IIR em torno de um projeto.

Juntamente com Pietrocola et al (2003), podemos afirmar que, “em geral, o conhecimento por projeto não é estável, nem exato e é tributário do contexto no qual está inserido”. Um mesmo projeto desenvolvido num mesmo lugar por grupos diferentes poderá produzir resultados diferentes, assim como se desenvolvido em contextos diferentes. Isso reforça o que já foi afirmado no capítulo três quanto à elaboração da situação-problema. A boa definição ajuda, mas não garante sucesso no desenvolvimento do projeto.

Para Fourez (1998 e 2001 apud SCHMITZ, 2004, p. 67), para a construção de uma IIR, é importante determinar o que se deseja, especificando uma situação precisa que o sujeito faz para construir o conhecimento. Dessa forma, o autor identifica quatro elementos, que servem de diretrizes para fazer o recorte do modelo a ser construído levando em consideração o tempo disponível para realização das atividades. São eles: o contexto, a finalidade do projeto, os destinatários e o tipo de produto.

Inspirados no trabalho de Pietrocola et al (2003), expressamos nossa situação-problema na forma de uma carta<sup>40</sup> que será entregue para os alunos na primeira etapa da IIR. Com essa carta, temos o objetivo de apresentar e problematizar a situação adotada e principalmente tornar o aluno responsável pela resolução do problema elaborado. Propositamente ela apresenta algumas palavras que possivelmente são desconhecidas pelos alunos e poderão constituir-se como caixas-pretas.

#### **4.2.1.1 Os elementos da Situação-Problema**

Essenciais para nortear o recorte dos modelos a serem construídos, como comentado anteriormente, os elementos da situação-problema, apontados por Fourez (2001 apud SCHMITZ, 2004, p. 69) são os seguintes: o contexto, a finalidade do projeto, os destinatários e o

---

<sup>40</sup> No anexo quatro, apresentamos um modelo desta carta. Para que a situação tenha mais sentido para os alunos, o nome da cidade e do rio ou lago deverá ser preenchido por nomes que sejam familiares.



tipo de produto. Estes elementos devem ser pensados e definidos nesta fase preliminar. A seguir “definiremos” cada um destes elementos para a IIR proposta.

**O contexto** – De acordo com Fourez (2001 apud SCHMITZ, 2004, p. 69), esse elemento refere-se a duas dimensões:

- (a) envolve as limitações inerentes aos recursos disponíveis (materiais, audiovisuais e humanos), princípios e valores dos “produtores da IIR” e (b) estes mesmos elementos na qual a situação-problema se refere.

Para Schmitz (2004), não é necessário que os participantes da IIR estejam inseridos no contexto da situação-problema. Esse autor aponta, inclusive, o exemplo de uma ilha elaborada e aplicada por Pietrocola et al (2003), em que a situação-problema se passa na Bolívia enquanto que o contexto dos “produtores” da IIR é Florianópolis. O contexto dos “produtores” da IIR interfere no modelo a ser construído, assim como as duas dimensões citadas anteriormente. Por isso que se faz necessário, ao elaborar a situação-problema, pensar no contexto da situação e no contexto dos destinatários.

Mesmo tendo a influência do contexto, acreditamos que nossa situação será percebida, pelos alunos, independente do contexto que estejam inseridos, como um verdadeiro problema. Como nos aponta Williams (2003), nos últimos anos, poucas palavras provocaram tanta celeuma e controvérsia como a Nanotecnologia. Se de um lado, alguns entusiastas criaram uma quase-religião baseada na crença de que a Nanotecnologia gerará riqueza e longevidade infinitas para os seres humanos, do outro, os alarmistas temem que, de algum modo, ela irá por fim à vida como a conhecemos, envenenando o meio ambiente ou liberando algum tipo de nanorrobô autorreprodutivo que domine a Terra. Para este pesquisador, nada disso é real. Mas para sabermos e entendermos essa situação e diminuirmos esse alarde, precisamos propagar esses conhecimentos para a sociedade. O melhor lugar para iniciar essa divulgação e formação, sem dúvida, é a escola. Até para contrapor as informações distorcidas que a mídia tem transmitido.

Como comentado anteriormente, a preocupação com a escassez da água é de todos. Evidentemente algumas regiões, por já estarem sofrendo com a falta da água, se preocupam mais e, conseqüentemente, podem possuir valores e princípios diferentes, o que resultará num modelo interdisciplinar diferente.

Nossa IIR está sendo pensada para ser aplicada na última série do Ensino Médio. Nada impede que isso seja realizado na primeira ou segunda série deste nível de ensino, ou até mesmo no nono ano do Ensino Fundamental. Desde que alguns pontos da elaboração pudessem ser revistos. Principalmente, por esta metodologia não exigir que se siga a sequência linear dos conteúdos tradicionalmente aceita em grande parte das escolas, uma vez que os conceitos desconhecidos e necessários para o entendimento de uma situação qualquer podem ser encarados como caixas-pretas e abordados ao longo da aplicação da IIR. Além disso, experiências comprovam que no nono ano do Ensino Fundamental, principalmente pelo fato de, na maioria das escolas, ainda não haver uma separação entre as disciplinas de Física e Química, fica mais tranquilo trabalhar questões que exigem um caráter interdisciplinar, pois, nessa fase, os alunos geralmente fazem muitos questionamentos e participam mais nas atividades propostas.

Entretanto, o principal motivo da escolha pela terceira série tem a ver com o fato de a proposta curricular de Santa Catarina defender que os elementos de FMC, incluindo estrutura atômica, devem ser ensinados na segunda e terceira série. Nos PCN e orientações posteriores, essa parte da Física vem sempre relacionada de alguma forma com conteúdos de eletricidade e magnetismo que são geralmente abordados na terceira série. Além disso, os alunos necessitarão de conceitos relacionados ao eletromagnetismo para entender algumas aplicações da Nanotecnologia, os quais, todavia, podem ser apontados como caixas pretas, caso a turma ainda não os tenha estudado.

Cada escola terá uma turma de terceira série com sua realidade específica, que possui suas necessidades, experiências, recursos, valores e princípios que dependem do contexto e nem sempre coincidem com os de outras escolas. Assim, o contexto e as características do público alvo deverão ser mais bem pensados pelo professor, que irá utilizar essa IIR, após a escolha do local de aplicação. Cabe ao professor, analisar o contexto, buscando determinar as condições para execução do projeto em questão, o que não nos impede de fazermos algumas inferências acerca de possíveis aplicações dessa IIR.

**A finalidade do Projeto** – Como comentamos no capítulo três, a principal finalidade de qualquer IIR, independente da situação-problema, e nesse caso não poderia ser diferente, é a promoção da ACT, visando aos objetivos apontados no capítulo três, mais especificamente, o domínio, a autonomia, a responsabilidade e a comunicação. Além

disso, para contribuir com essa promoção, temos a finalidade de abordar tópicos de FMC e construir uma representação da Nanociência e da Nanotecnologia, mais especificamente relacionada à aplicação apontada na situação-problema, mas não limitada apenas a essa aplicação. Sendo que, para elaborar o relatório final, defendendo ou não esta aplicação, ou seja, avaliar conscientemente a situação exposta na carta, ele terá que saber vários aspectos relacionados a esta área, os quais dependem de conhecimentos da Física, da Química, da Matemática, da Biologia e outras disciplinas, que serão trabalhados ao longo das etapas da IIR e discutidos no tópico referente aos conteúdos.

**Os destinatários** – Para Fourez (1997), o modelo teórico a ser construído deve estar voltado para o grupo social com o qual a equipe executora do projeto deseja se comunicar. “Dependendo do tipo de IR, a Situação-Problema pode ser o resultado de uma combinação entre o problema e o destinatário representarem um caso real ou fictício” (SCHMITZ, 2004, p. 70). No nosso caso, é resultado da combinação entre um problema real com destinatários fictícios<sup>41</sup>. Entretanto, dependendo da disponibilidade do professor, ele poderá entrar em contato com a câmara municipal de sua cidade e apresentar o projeto aos vereadores, buscando uma parceria que traga maior motivação aos seus alunos. Agora, se o mesmo professor pensar, por algum motivo qualquer, que considerar a câmara dos vereadores como destinatário possa trazer algum problema durante a aplicação da IIR, este pode criar uma empresa fictícia como destinatário, como fizeram Pietrocola et al (2003)<sup>42</sup> em uma turma de licenciatura em Física. Mas em se tratando de

---

<sup>41</sup> Na realidade, os destinatários são reais, uma vez que cada cidade possui uma câmara de vereadores. O que é fictício nesta situação é a carta enviada aos alunos. Entretanto, como comentado, o professor poderá entrar em contato com a câmara e buscar uma parceria na execução deste projeto, tornando o problema ainda mais real ou, se preferir, poderá trocar a câmara por uma empresa fictícia.

<sup>42</sup> Os autores aplicaram uma IIR num grupo de 13 licenciandos em Física do sétimo semestre da UFSC. A aplicação do projeto iniciou-se com a leitura, pelo professor da disciplina no final de uma aula, de um ofício encaminhado por uma empresa fictícia solicitando os préstimos da turma para a solução de um problema referente à determinação da(s) causa(s) de 50 óbitos na Bolívia decorrentes de choques elétricos durante banho, com chuveiros elétricos de várias marcas produzidas no Brasil. Segundo os autores, nos momentos iniciais que se seguiram a leitura do ofício, boa parte dos alunos não percebeu que se estava propondo uma situação fictícia. Com a leitura dos signatários do ofício,

alunos do Ensino Fundamental e Médio, há de se ter mais cuidado como nos alerta Fourez (1997):

“Se a situação escolhida for demasiadamente artificial, o grupo, no momento de negociar, carecerá de critérios firmes e tenderá a questionar as hipóteses da situação fictícia. O resultado então, geralmente, será frustrante”. (p. 111, grifos do autor).

Como nossa situação problema está ligada diretamente com um problema real e principalmente por se tratar de uma aplicação em uma área bastante instigante, acreditamos que isso não acontecerá.

**O tipo de produto** – O produto final desta IIR será um relatório, que deverá ser construído em conjunto pelos alunos da sala de aula, onde a IIR será aplicada, ou como diria Fourez (1997), pela equipe executora do projeto.

No relatório, deve conter uma análise da viabilidade da utilização da nanotecnologia para despoluir a água de um Rio específico, bem como as argumentações e justificativas de toda a equipe acerca da situação.

#### 4.2.2 A elaboração do Plano

Após elaborar a situação problema, ainda nesta fase inicial, passamos para a elaboração do plano. Nele, pensaremos no tempo disponível para o projeto, nos recursos que serão usados, nas disciplinas envolvidas, nos conteúdos que poderão ser abordados, nas caixas pretas, nos especialistas, na participação dos professores, dos alunos e na avaliação.

A flexibilidade da IIR exige que o plano elaborado seja revisitado e sofra modificações ao longo do caminho. Dessa forma, o que estamos fazendo neste capítulo, e que todo professor, que deseja utilizar esta metodologia, deve fazer nesta fase preliminar da IIR, é apenas um levantamento e uma reflexão acerca das possibilidades. Entretanto, é inevitável e desejável que, ao mediar durante cada etapa, o professor possa influenciar em algumas decisões para que a equipe

---

nomes e sobrenomes de físicos famosos, isso ficou evidente, mas não atrapalhou em nada o andamento das etapas seguintes, nem diminuiu o interesse dos alunos em encontrar a solução para o problema proposto.

possa atingir os objetivos do projeto e evitar que se afaste muito destes de modo a comprometer ou dificultar a realização da atividade.

#### **4.2.2.1 A variável tempo**

Um elemento muito importante e fortemente ligado à aplicação da IIR é a variável tempo. Como toda atividade didática, este é um ponto que deve ser planejado com bastante cuidado, senão pode comprometer todo o empenho, tanto dos professores quanto dos alunos, principalmente, por se tratar de uma atividade que tem os alunos como equipe executora e possui a flexibilidade da IIR.

O tempo disponibilizado para a execução deste projeto dependerá de alguns fatores. Das disciplinas que farão parte, da cessão de algumas aulas por parte dos professores, do número de aulas cedidas, se os educadores participarão apenas como especialistas nas aulas de física, se todas as aulas semanais de física serão destinadas à execução do projeto ou se o professor dividirá suas aulas semanais entre a aplicação da IIR e os conteúdos da disciplina propriamente dita e que possivelmente não fazem parte da IIR e outras atividades da disciplina, ou seja, se continuará trabalhando os outros conteúdos concomitantemente à execução do projeto.

Nossa sugestão é que cada professor, pelo menos os de Física, Química, Biologia, Matemática e Português, cedam uma aula por semana para a conclusão do projeto num prazo de um mês. Já os professores das outras disciplinas, por exemplo, de História, Geografia, de Línguas Estrangeiras e principalmente Filosofia e Sociologia, pelo pequeno número de aulas semanais, poderiam ceder uma aula quinzenal, ou seja, apenas duas aulas durante a aplicação da IIR, para discutir as questões sociais relacionadas à política, à ética e outros. Além disso, sugerimos que a IIR não seja aplicada em épocas em que há concentração de provas marcadas, como no final de bimestres ou trimestres e, principalmente, próximo ao final do ano letivo. As preocupações com as provas podem inviabilizar o projeto pela falta de dedicação e envolvimento dos alunos.

Julgamos ser melhor reduzir o número de aulas semanais por disciplina e alternar a aplicação da IIR com outras atividades da disciplina, a investir todas as aulas semanais no projeto e diminuir o tempo de execução. Principalmente pelo fato de os alunos precisarem de tempo para pesquisar as diversas fontes, os especialistas, trabalhar em

casa, com os grupos e amadurecerem o suficiente para atingir os objetivos da ACT.

#### **4.2.2.2 Organização dos conteúdos e das Caixas-pretas**

Na perspectiva de ACT adotada neste trabalho, os conteúdos não são um fim, mas um meio para a compreensão das interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade e para o entendimento crítico da realidade. Dessa forma, os conteúdos devem estar articulados às questões que levam ao entendimento da situação-problema e que permitirão a construção do relatório final, o que exige um levantamento das caixas pretas e bifurcações que poderão estar presentes na aplicação da IIR.

Como vimos no capítulo dois, a Nanociência, o estudo de estruturas do tamanho de um a cem nanômetros, é o campo no qual, nos últimos trinta anos, aproximadamente, juntaram-se os avanços de centenas de anos na Física, Química e Biologia.

Atingiu-se um ponto no qual a demarcação entre essas disciplinas se tornou imprecisa, e é exatamente por esta razão que a Nanotecnologia é também referida como uma tecnologia de convergência. Cada disciplina evoluiu em direção a este objetivo comum, por meio de uma série de avanços intelectuais, desenvolvimento de instrumentos para produção e caracterização e descobertas experimentais.

O estudo de uma situação qualquer que envolva a Nanociência e Nanotecnologia pela ótica disciplinar será muito limitado, incompleto e até inadequado. Várias disciplinas têm contribuído para o desenvolvimento desta área e com certeza serão necessárias para o bom entendimento da nossa situação-problema. A Física, por exemplo, com seus conhecimentos, mais especificamente da Física Quântica, incluindo o desenvolvimento de ferramentas para a construção e caracterização, teve destaque para a obtenção e análise dos nanomateriais e para o entendimento da matéria e dos fenômenos nesta escala. A Biologia tem contribuído para o desenvolvimento e entendimento de novas aplicações relacionadas aos processos biológicos e aos estudos sobre as implicações da Nanotecnologia no meio ambiente. A Química contribuiu na obtenção e entendimento de novas estruturas, capazes de executar funções especializadas. A Matemática, em conjunto com a Informática, têm contribuído com os cálculos, simulações e criação de

modelos para análise e obtenção de novas aplicações, bem como a análise dos riscos dessas novas tecnologias. Já as Ciências Humanas têm contribuído para o entendimento de questões éticas, morais e políticas, bem como a relação entre o desenvolvimento tecnológico na área e a sociedade e os impactos desse desenvolvimento. Além dessas, outras disciplinas deverão ser representadas durante a aplicação desta IIR, seja pelos seus professores, seja por especialistas que, como os primeiros, devem contribuir para o entendimento da situação exposta e para a construção do produto final.

Para prever os conteúdos que poderão ser trabalhados ao longo da aplicação da IIR, o professor responsável pela elaboração deverá listar as caixas pretas, os pontos que podem gerar discussão com relação à escolha destas caixas, as bifurcações que podem surgir, as normas, os atores e pontos polêmicos que podem suscitar e sustentar discussões acerca do projeto. Nesse sentido, apontamos algumas possibilidades de caixas-pretas que poderão ser apontadas nas primeiras etapas da IIR. Lembrando que na carta que será entregue aos alunos, propositalmente, há palavras em destaque que podem ser apontadas como tal.

**Possíveis caixas-pretas:** Nanômetros, Vantagens e desvantagens da área, Riscos, Nanopartículas, Richard Feynman, Dimensão atômica, Modelo atômico, Novos efeitos e possibilidades na escala nanométrica, Microscópio de tunelamento, Microscópio de força atômica, Molécula, Efeito túnel, Materiais atômicamente modificados, Autorreprodução, Toxicidade e Campo magnético.

A figura abaixo representa uma organização que elaboramos com as possíveis disciplinas que poderão contribuir durante a aplicação da IIR, com alguns conceitos que poderão ser abordados nesta para a construção do produto final. De antemão, podemos afirmar que todas as disciplinas, participantes da IIR, poderão contribuir, a sua maneira, para a definição da Nanociência e Nanotecnologia e para a análise e entendimento das vantagens e desvantagens desta área, bem como dos possíveis impactos e riscos no ambiente e na saúde. Optamos por não separar as disciplinas que fazem parte do grupo das Ciências Humanas e suas Tecnologias e do grupo das Linguagens, Códigos e suas Tecnologias. Isto, principalmente pela nossa falta de afinidade e de clareza da demarcação destas disciplinas, principalmente entre as do primeiro grupo. Mas acreditamos que isso será resolvido após análise das possíveis caixas pretas em conjunto com os professores destas

disciplinas, que participarão da IIR e com os próprios alunos. Além disso, por mais que tenhamos separado as demais disciplinas, elas estão fortemente ligadas no que diz respeito ao estudo deste tema. O intuito desta separação inicial é simplesmente contribuir com o levantamento dos especialistas e especialidades e para ter uma noção das contribuições de cada disciplina para o entendimento da situação-problema.

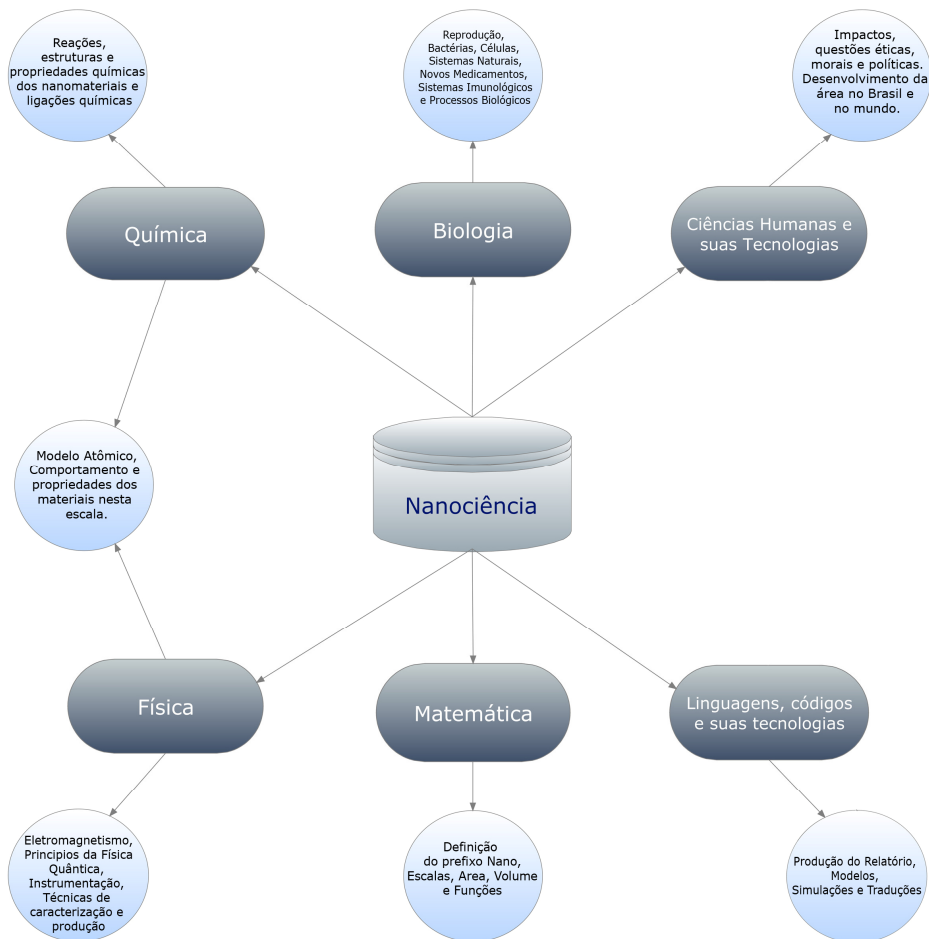


Figura IV - Organização das disciplinas



No que diz respeito ao levantamento dos conteúdos de Física, após levantamento das caixas-pretas, contamos com a colaboração dos licenciandos em Física da disciplina de Metodologia e Prática do Ensino de Física, que, após seminário sobre esta pesquisa, responderam à questão: “Quais tópicos de FMC podem ser ensinados por meio da Nanociência e Nanotecnologia? Justifique sua resposta.”

Os tópicos mais apontados pelos licenciandos, como importantes para o entendimento da Nanociência e Nanotecnologia, foram: modelo atômico, tunelamento, barreiras de potencial, princípio da incerteza, dualidade onda-partícula, efeito fotoelétrico, quantização de energia e estrutura da matéria. Como podemos observar, esses tópicos estão em consonância com as caixas-pretas apontadas anteriormente. Entretanto, quando apresentamos o seminário para essa turma, não optamos por uma situação específica, apenas analisamos o tema de um modo geral. Isso justifica o fato dos licenciandos não apontarem o Eletromagnetismo como essencial para o entendimento desta área, uma vez que os conhecimentos relacionados com este tópico, embora indispensáveis para o entendimento da nossa situação-problema, sejam dispensáveis para várias outras aplicações da Nanociência e Nanotecnologia.

Obviamente, estes tópicos devem contribuir para o entendimento do próprio prefixo nano, da origem e da evolução da Nanociência e da Nanotecnologia, dos métodos de fabricação e técnicas de caracterização, das propriedades Física dos materiais nesta escala, das aplicações e dos possíveis impactos e riscos destas aplicações. Para que, juntamente com as contribuições das outras disciplinas, possam possibilitar o entendimento da situação-problema e promover a ACT.

Entretanto, dos tópicos citados acima, poucos são encontrados nos livros escolares. Os que estão presentes possuem, na grande maioria dos livros didáticos, uma abordagem um tanto descontextualizada e descaracterizada. Cabe ao professor, de acordo com o enfoque que será dado em cada tópico, em função da equipe executora do projeto, fazer uma nova transposição que esteja adequada ao seu contexto. Além disso, o professor tem a opção dos materiais paradidáticos existentes nesta área, inclusive disponíveis na rede. Atualmente é expressivo o número de materiais paradidáticos existentes na área de Física Moderna e Contemporânea. Obviamente, a opção e utilização destes materiais também exigem parcimônia dos professores. Cabe destacar aqui os

textos de apoio<sup>43</sup> ao professor de Física, publicados pelo Programa de Pós-graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A seguir, apresentaremos outros materiais que também poderão auxiliar os professores neste sentido.

#### 4.2.2.3 Seleção dos recursos

Para Fourez (1997), os recursos podem ser: a) humanos (professores, alunos, especialistas e comunidade), utilizados como possíveis fontes de informações e de tomadas de decisões ou b) materiais (bibliotecas, laboratórios, internet, vídeos, museus e outros), utilizados como apoio e/ou fontes de informações.

A seguir, apresentaremos alguns recursos humanos e materiais que poderão ser utilizados durante a aplicação da IIR. Para Schmitz (2004), a importância desta seleção está em tentar diminuir as frustrações ou situações de extremo imprevisto.

##### a) Recursos humanos:

**Alunos:** Esse recurso está compreendido na sala de aula onde a IIR será aplicada. Nela está o recurso mais importante do projeto. Afinal de contas, sem equipe, não há execução alguma. Além disso, é deste recurso que mais dependerá o produto final. O que justifica o fato de a situação-problema ter que ser problematizadora, pois os educandos precisam estar bem motivados, interessados e instigados a alcançar a resolução da questão apresentada.

**Professores:** Depois do recurso anterior, esse é o recurso mais importante. O bom desempenho da execução do projeto dependerá da mediação dos educadores. Sendo necessário que estes tomem as atitudes e modos de ação apontados no capítulo três. Para Pietrocola et al (2000), o professor deve ser o primeiro perito a ser consultado.

Caberia a ele, com sua bagagem científica, indicar os elementos necessários para a abertura inicial das caixas-pretas, indicando em particular como os conteúdos já estudados em etapas

---

<sup>43</sup> Estes textos estão disponibilizados na rede e podem ser acessados com facilidade no endereço: [www.if.ufrgs.br/tapf/](http://www.if.ufrgs.br/tapf/)

tradicionais do ensino podem ser úteis nesse processo. (idem ao anterior, p. 119).

Diante da abrangência do tema, todos os professores poderão fazer parte do projeto. Entretanto, pela maior afinidade com a situação, destacamos os professores das disciplinas de Física, Química, Matemática, Biologia, Sociologia, História, Geografia e Português.

**Comunidade:** Neste recurso, enquadram-se toda a comunidade escolar, moradores e empresários da comunidade local que possam auxiliar no conhecimento da região e da importância do lago ou do rio. Também poderão participar alguns funcionários da prefeitura, incluindo os vereadores, tornando a situação-problema ainda mais real.

**Especialistas:** Além dos professores citados acima, poderá fazer parte do projeto algum engenheiro, físico, químico, biólogo ou sociólogo que trabalhe nesta área. Também poderão ser convidados, para participar do projeto, profissionais da área da saúde e profissionais que trabalham com o meio ambiente, como engenheiro ambiental e outros.

## **b) Recursos Materiais:**

**Artigos:** Durante nossa pesquisa, selecionamos alguns artigos que poderão ser utilizados durante a aplicação da IIR pelos professores e alunos, ou simplesmente contribuirão com a formação dos professores. Selecionamos vinte e cinco artigos, sendo: a) treze relacionados diretamente com a Nanociência e Nanotecnologia e b) doze com a FMC. A seguir apresentaremos os artigos. No anexo três, faremos alguns comentários acerca da utilização deles e no CD de apoio (acessar o link “artigos” no anexo sete), tais artigos poderão ser acessados na íntegra.

Vale adiantar que os artigos relacionados com a Nanociência e a Nanotecnologia, com poucas exceções, se dividem entre os que se apresentam numa visão extremamente *tecnófila* (simplesmente não se preocupam com os impactos que podem ocorrer com o desenvolvimento desta área); e os que se enquadram numa perspectiva extremamente *tecnófoba* (POSTMAN, 1994), apontando a Nanotecnologia como vilã.

Se o primeiro contato for com os da segunda divisão, sem uma formação mais crítica, haverá uma tendência em inviabilizar diretamente

a aplicação apontada na situação-problema, muito antes de alcançarmos os objetivos pedagógicos. Não que esse não possa ser o resultado final, apontado no relatório, mas, para essa decisão ser tomada, será preciso passar por algumas etapas, incluindo debates entre o grupo e com os especialistas. Assim, julgamos interessante que os professores sugeriram primeiramente os artigos da primeira divisão. Entretanto, não podemos esquecer que esses e outros artigos podem ser acessados facilmente na rede, possibilitando um contato com qualquer tipo de informação. O professor, porém, munido dos artigos disponíveis no CD de apoio, poderá contornar essa situação, fazendo alguns questionamentos que promovam o debate entre o grupo, que provoquem desequilíbrios em suas concepções prévias e ainda apontando as vantagens da Nanociência e Nanotecnologia. Além disso, devemos lembrar que o resultado do projeto não será a decisão do professor ou de alguns alunos, mas fruto do consenso do grupo.

#### **a) Artigos sobre Nanociência e Nanotecnologia:**

**Artigo 01** – “O que é nanociência e para que serve a Nanotecnologia?”

**Artigo 02** – “Nanotecnologia: no coração da matéria”.

**Artigo 03** – “Nanociência e Nanotecnologia: o gigantesco e promissor mundo do muito pequeno”.

**Artigo 04** – “Nanotecnologia”.

**Artigo 05** – “Nanotecnologia: a revolução invisível”.

**Artigo 06** – “Ferramentas Magnéticas na escala do átomo”.

**Artigo 07** – “O desenvolvimento da nanotecnologia: cenário mundial e nacional de investimentos”.

**Artigo 08** – “Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectiva e riscos”.

**Artigo 09** – “**Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente no Brasil: perspectivas e desafios**”.

**Artigo 10** – “Do metro ao nanômetro: um salto para o átomo”.

**Artigo 11** – “Abordagens em nanociência e nanotecnologia para o Ensino Médio”.

**Artigo 12** – “Afinal, o que é Nanociência e nanotecnologia? Uma abordagem para o Ensino Médio”.

**Artigo 13** – “Nanociência de baixo custo em casa e na escola”.

#### **b) Artigos sobre FMC:**

**Artigo 01** – “Introdução à mecânica dos Quanta . Parte I”.

**Artigo 02** – “Introdução à mecânica dos Quanta . Parte II”.

**Artigo 03** - “Introdução à mecânica dos Quanta . Parte III”.

**Artigo 04** – “Introdução à mecânica dos Quanta . Parte IV”.

**Artigo 05** – “Mecânica quântica: uma nova imagem do mundo”.

**Artigo 06** – “Quando o homem começou a ver os átomos!”.

**Artigo 07** – “Microscópio de tunelamento com varredura (STM) microscópio de força atômica (AFM)”.

**Artigo 08** – “Sobre a teoria quântica da radiação”.

**Artigo 09** – “Limite clássico da mecânica quântica”.

**Artigo 10** – “Nascimento da Física”.

**Artigo 11** – “Nascimento da Física”.

**Artigo 12** – “Experiências em Física Moderna”.

**Experimentos:** O artigo treze sobre nano (“Nanociência de baixo custo em casa e na escola”) e doze sobre FMC (“Experiências em Física Moderna”) apresentam algumas atividades experimentais que poderão ser utilizadas durante a abertura de caixas-pretas que estejam diretamente relacionadas com o assunto tratado na atividade ou quando simplesmente trouxer alguma contribuição para o entendimento de alguma questão apontada durante a aplicação da IIR.

**Hipermídia e Vídeos:** Segundo Machado e Nardi (2008), a informática expande as possibilidades para o acesso, o processamento e a comunicação de informações, com potencial para o desenvolvimento de atividades educacionais motivadoras e significativas. Neste sentido, desenvolvemos, ao longo desta pesquisa, um material em hipermídia (acessar no CD de apoio o link “página nano”), com textos e vídeos que apresentam informações interessantíssimas sobre a Nanociência e Nanotecnologia. Junto aos seminários (acessar o link “seminários” no CD de apoio), há alguns vídeos que também trazem informações riquíssimas sobre o tema. Além disso, também no anexo sete, há um DVD do filme “Nanotecnologia: o futuro é agora!”<sup>44</sup>. Ambos poderão ser utilizados durante a aplicação da IIR em qualquer momento em que

---

<sup>44</sup> Este vídeo é uma obra da RENANOSOMA. Utilizamos alguns trechos dele durante o seminário na Sepex e também incluímos alguns trechos no hipertexto que construímos durante a pesquisa. O vídeo é ideal para trabalhar as questões relacionadas aos possíveis impactos e riscos da Nanotecnologia. Pode ser utilizado durante a abertura de caixas pretas relacionadas com as questões ambientais, sociais, políticas éticas e morais ou ainda para substituir, algum especialista destas áreas, na etapa três.

o professor sentir necessidade destes recursos e julgar necessário o seu uso.

**Revista em quadrinhos:** No CD de apoio, também consta uma revista em quadrinho intitulada “Nanotecnologia: O transporte para um novo universo”, elaborada pelo Ministério do Trabalho e Emprego e pela Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO) por meio do projeto “Impactos da nanotecnologia na saúde dos trabalhadores e meio ambiente” iniciado em 2007 na FUNDACENTRO. Este projeto é desenvolvido em parceria com RENANOSOMA (rede de pesquisa em nanotecnologia, sociedade e meio ambiente), IIEP (Intercâmbio, Informações, Estudos e Pesquisas), DIESAT (Departamento Intersindical de Estudos e Pesquisas de Saúde e dos Ambientes de Trabalho), DIEESE (Departamento Intersindical de Estatísticas e Estudos Sócio-Econômicos), Sindicato dos Metalúrgicos de Osasco, SRTE (Superintendência Regional do Trabalho), ENSP/FIOCRUZ (Escola Nacional de Saúde Pública/ Fundação Oswaldo Cruz) e CEREST/SP (Centro de Referência em Saúde do Trabalhador do Estado de São Paulo). A revista é escrita de uma forma bem didática com uma linguagem acessível até para alunos das séries finais do Ensino Fundamental. Em forma de “historinha” são abordadas questões referentes à escala nanométrica, a área, ao volume, vantagens e riscos da Nanotecnologia. Em suma, faz um alerta ao uso inconsciente das Nanotecnologias. Ideal para ser utilizada na discussão de questões relacionadas com as questões políticas, éticas e sociais e com o desenvolvimento desta área.

#### **4.2.2.4 A participação dos professores nas etapas da IIR**

Acostumado a selecionar e transmitir o conhecimento, responder e explicar sempre as mesmas questões, que são, em sua maioria, limitadas aos conhecimentos de sua disciplina, o professor, conforme comentado no capítulo três, terá que mudar sua postura. Mais do que um simples organizador na execução do projeto, será também um especialista a ser consultado.

Ele deveria indicar como os conteúdos estudados nas disciplinas envolvidas no projeto podem ajudar no processo; indicar

bibliografias e/ou especialistas; fazer uma abordagem inicial procurando ampliar o horizonte dos atores envolvidos e cruzar os saberes oriundos das várias disciplinas. Mas no momento oportuno, deixar espaço para o rigor e o aprofundamento necessário que o conhecimento disciplinar e a escola exigem. (SCHMITZ, 2004, p. 06).

Além disso, como comentado anteriormente, durante a aplicação da IIR existem inúmeras bifurcações que podem modificar o resultado final. Assim, torna-se necessário que, em alguns momentos, o professor induza a certos caminhos que levem à finalidade do projeto. Para que isso ocorra, o professor deverá agir com parcimônia e estar atento às atitudes e aos modos de ação do professor mediador apontados no capítulo três.

Passamos a apresentar um esboço de cada etapa da IIR para a situação proposta. Lembrando que sua finalidade será apenas orientar o(s) professor(es), no sentido de procurar prever os caminhos que poderão ser tomados durante a aplicação.

1 – Fazer um clichê da situação estudada: Nesta etapa, o professor poderá apresentar a carta (anexo cinco) e propor o projeto aos alunos, esclarecendo como será o desenvolvimento do projeto e como os alunos serão tratados e avaliados. Será feito um levantamento sobre o que os alunos sabem sobre Nanociência e Nanotecnologia. Feito isso, o professor deverá analisar o que é admitido por todos, o que é objeto de controvérsias e o que é objeto de valor. Dependendo do envolvimento dos alunos e do tempo disponível, o professor já poderá sugerir a leitura do “artigo 01” sobre Nano ou propor uma leitura dinâmica com a equipe, dependendo dos recursos materiais da escola, poderá levá-los ao laboratório de informática para utilização da hipermídia “página nano” ou ainda fazer uma leitura dinâmica de partes ou de toda palestra de Feynman (anexo quatro).

2 – Panorama Espontâneo: Será feito o levantamento das caixas-pretas. Como comentado, propositalmente a carta entregue aos alunos e a palestra de Feynman (se for trabalhada na etapa anterior) já possuem algumas palavras que não fazem parte do cotidiano dos alunos, assim eles já poderão observar facilmente algumas caixas-pretas. Também será feito o levantamento dos atores envolvidos, dos jogos de interesse e das tensões, das bifurcações e dos especialistas e especialidades. Dependendo do envolvimento dos alunos e da condução desta etapa, os alunos já poderão ser separados em grupos. A separação

deperderá do número de alunos na sala e poderá ser feita por funções ou por especialistas.

3 – Consulta aos especialistas e às Especialidades: Após levantamento das caixas-pretas, os alunos saberão quais especialistas deverão ser consultados. No CD de apoio, há alguns vídeos com entrevistas a alguns especialistas e artigos que podem substituir a presença, caso a equipe não consiga levar até a sala de aula ou chegar até um determinado especialista.

4 – Ida à Prática: Nesta etapa, os alunos poderão visitar um rio ou um lago, supostamente poluído, para analisar e refletir sobre as formas de vida presente, sobre sua utilidade para o meio ambiente e sobre os riscos da aplicação apontada na situação-problema. Também poderão visitar algum laboratório que trabalhe com Nanotecnologia.

5 – Abertura Aprofundada de Algumas Caixas-Pretas e Descobertas de Princípios Disciplinares que Sustentam uma tecnologia: Aqui os alunos, com a ajuda de algum especialista, abrirão as caixas-pretas que julgarem primordiais para o entendimento da situação problema, devendo acontecer vários debates acerca das bifurcações que poderão surgir nesta etapa. O professor poderá sugerir algumas atividades experimentais ou leituras de artigos que auxiliarão no entendimento das caixas-pretas.

6 – Esquematização Global da Tecnologia: Será feito uma organização sobre tudo o que os alunos já sabem sobre o tema. Pode ser feito um resumo ou um esquema a partir do qual se possa construir uma representação teórica da situação. Para que os alunos percebam quanto progrediram e o que falta para o entendimento da situação e conseqüentemente para a conclusão do produto final.

7 – Abrir algumas Caixas-Pretas sem a ajuda de Especialistas: Para analisar e proporcionar um sentimento de autonomia, os alunos abrirão algumas caixas-pretas sem a ajuda dos especialistas. Os alunos selecionarão, entre as caixas-pretas fechadas, aquelas que são indispensáveis para o entendimento da situação. Aqui também deve haver debates acerca das bifurcações que podem surgir nesta etapa.

8 – Síntese da IIR: Nesta etapa final, seria interessante contar com todos os professores que participarão da aplicação da IIR, principalmente com os professores da área de linguagens, códigos e suas tecnologias para conclusão e apresentação do relatório final, e com algum representante da câmara de vereadores ou da prefeitura.

Ao “olhar” apenas para a situação-problema, ou seja, para a água poluída e para a aplicação, sem levar em consideração todo o



contexto, e entendê-la após uma aproximação com a lavagem de uma roupa, por exemplo, os alunos poderão imediatamente, até sem a ajuda de especialistas, considerá-la viável. Como uma mulher que usa que um creme com nanopartículas e percebe um bom resultado quase que instantaneamente, por isso investe nesta aplicação, considera viável e faz propaganda. Mas será que apenas o resultado visível na pele desta mulher viabiliza a utilização do creme? Será que este não trará consequências indesejáveis?

Voltamos a pensar em nossa aplicação e podemos fazer os seguintes questionamentos: Como são estas nanopartículas? Como são vistas? Será que todas serão capturadas? Como são produzidas? Será que não comprometerão as diversas formas de vida do rio ou do lago? Quais riscos trarão para o meio ambiente? Será que não são autorreprodutoras? Apresentam que grau de toxicidade? Como vão reagir com a água? Dessa forma o professor poderá utilizar estes e outros questionamentos caso as decisões tomem um viés muito superficial, ou a formação de uma concepção muito salvacionista acerca das Nanotecnologias, assim como poderá alertar para as vantagens desta área, caso perceba a formação de uma concepção muito tecnófoba.

#### **4.2.2.5 A participação dos alunos nas etapas da IIR**

Acreditamos que os alunos, acostumados a receber o assunto de um modo fechado e acabado, com questões e respostas também prontas e fechadas, em princípio, encontrarão dificuldades na organização do trabalho. Julgamos importante que estes tenham uma explicação do projeto em si, sem a necessidade de explicar a metodologia da IIR.

Os alunos devem ser alertados, antes da entrega da carta, que, daquele momento em diante, a turma será encarada como uma equipe executora de um projeto, com um problema para resolver, tendo os professores e especialistas, por sua vez, apenas como consultores. Além disso, deverão ser informados e orientados quanto à utilização do portfólio e sobre como serão avaliados.

Eles precisam aceitar a proposta da carta e encarar a situação como um desafio. Devem ter motivação para buscar as informações necessárias e cumprir com as tarefas sugeridas pelos professores e pelo seu grupo. Precisam, acima de tudo, sentir-se como membros de uma equipe, que precisa muito do trabalho do grupo e principalmente do esforço e envolvimento de cada integrante.

A equipe será responsável pelo levantamento das caixas pretas, pela decisão de abertura e pela sequência de abertura das caixas. Será responsável pela seleção dos professores e especialistas que poderão fazer parte do projeto e pelo levantamento, dos jogos das tensões, das bifurcações e dos atores envolvidos na situação. Podendo sofrer influência moderada do(s) professor(es) em qualquer uma destas funções. A equipe também poderá sugerir e fornecer recursos materiais para o entendimento de algumas questões levantadas durante a aplicação da IIR.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao abordarmos as etapas de elaboração de uma IIR para o ensino de Tópicos de FMC, expomos uma noção prévia, imaginando as questões que poderiam ser levantadas pelos alunos, bem como as caixas pretas, os conteúdos que poderão ser trabalhados, os pontos que podem gerar discussão com relação à escolha destas caixas, as bifurcações que podem surgir, as normas, os atores e pontos polêmicos que podem suscitar e sustentar discussões acerca do projeto. Isto, obviamente, não define o resultado do projeto, uma vez que este dependerá do contexto, dos atores, dos valores e princípios do grupo e da negociação em si.

Mesmo não tendo aplicado nossa IIR, tivemos a preocupação de fornecer reflexões e análises acerca de uma possível aplicação e principalmente fornecer subsídios para que qualquer professor, independente do seu contexto e dos destinatários, possa aplicar a IIR proposta. O próprio Fourez (1997, p. 111) recomenda que, para a aplicação de uma IIR, seja elaborado um módulo do professor. Tal módulo poderia auxiliar no levantamento dos pontos importantes para a situação-problema e para a aplicação da IIR e fornecer ao conjunto de professores, diversas maneiras de abordar cada uma das etapas, de acordo com cada situação.

A flexibilidade presente nesta metodologia, unida com o fator tempo, nos exigiu uma análise mais superficial de cada etapa da IIR. Entretanto, podemos inferir que esta proposta é viável e permite contemplar necessariamente tópicos de Física Moderna e Contemporânea, sem se deixar aprisionar pelas sequências didáticas tradicionalmente adotadas nos livros didáticos e em grande maioria das escolas brasileiras.

A metodologia da IIR permite sair de um ensino pautado na memorização e de um conjunto de informações, muitas vezes sem significado, permitindo, ao aluno, um olhar diferenciado em relação à ciência e à tecnologia, bem como a relação destas com a sociedade, sendo capaz de se expressar e posicionar-se diante de assuntos relacionados a elas, com responsabilidade, desenvolvendo certa autonomia e uma linguagem científica adequada.

Acreditamos que, nesta perspectiva, a Física poderá ser desmistificada, passando a ter outro significado para os alunos, pois, optando por um problema real em que o aluno se sinta imerso, estaremos aproximando a escola da realidade vivida pelo educando, uma vez que os problemas tradicionalmente abordados em sala de aula são,

em suma, idealizados e desvinculados do contexto, levando grande parte do corpo discente a questionar a pertinência dos conteúdos, originando aquela famosa questão: Para que serve isso que eu estou aprendendo? Acreditamos que com a metodologia da IIR esse questionamento não surgirá.

Os alunos podem até pensar que seja desnecessário se preocupar com os possíveis riscos e impactos relacionados com a Nanotecnologia, por acreditarem que possuem muitos pesquisadores, até redes de pesquisas, que se preocupam com isso. Entretanto, percebemos que esse número, comparado ao de pesquisadores que se preocupam mais com o desenvolvimento desta área propriamente dita do que com o da sociedade, ainda é pequeno. Além disso, eles devem perceber que esse processo é demorado e às vezes pode ser tardio. Assim, precisam conhecer o tema para optar pelo uso antes mesmo do “acordo” entre os cientistas, pois, como sabemos, já existem vários produtos sendo comercializados e até o momento, há poucos estudos dos meios científicos, das indústrias ou órgãos governamentais publicados sobre os impactos das nanopartículas, no meio ambiente e na saúde.

Sabemos que a nanotecnologia está hoje presente em vários aspectos da vida humana, de modo que não há mais como frear ou rejeitar seu desenvolvimento. O que nos resta é exigir uma profunda investigação e conhecimento dessa nova área para potencializar seus benefícios em prol da sociedade, prever os riscos e promover discussões acerca destas questões. Acreditamos que o melhor lugar para esses debates e para obter o conhecimento necessário para o entendimento destas questões ainda é a escola.

O fato de o tema abordado neste trabalho depender dos saberes de várias disciplinas para ser bem entendido o deixa em uma situação privilegiada, na perspectiva da ACT abordada neste trabalho. No entanto, pode dificultar sua abordagem por metodologias ou em situações que não permitem o entrelaçamento entre as disciplinas.

Este trabalho contribui com as pesquisas na área de Ensino de Física Moderna e Contemporânea e também contribui para entendermos como alguns alunos, do Ensino Médio, se comportam diante de atividades de ensino que visam a aproximá-los de assuntos científico-tecnológicos.

Parafraseando os PCN, encerramos este trabalho acreditando que uma concepção assim ambiciosa do aprendizado científico-tecnológico no Ensino Médio, diferente daquela hoje praticada na maioria de nossas escolas, não é uma utopia e pode ser efetivamente posta em prática.

Contudo é desejável que toda a escola e sua comunidade, não só o professor, mobilizem-se, envolvam-se e, principalmente, comprometam-se para produzir as novas condições de trabalho, de modo a promover a transformação educacional pretendida e a ACT desejada.



**REFERÊNCIAS**

- ANGOTTI, J. A. P e DELIZOICOV, Demétrio. **Física**. São Paulo, Cortez, 1992.
- AUVETTI, Marco Antônio Simas. **Ensino de Física Moderna e Contemporânea e a Revista Ciência Hoje**. Dissertação de mestrado em Educação. UFSC/CED. Florianópolis/SC, 1999.
- AULER, Décio e DELIZOICOV, Demétrio. **Alfabetização Científico-Tecnológica para quê?**. Revista Ensaio. Vol. 3 N. 1. Junho, 2001.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Persona Edições, Lisboa, 1979.
- BETTANIN, E. **As Ilhas de Racionalidade na promoção dos objetivos da Alfabetização Científica e Técnica**. Dissertação de Mestrado – UFSC/CED. Florianópolis/SC, 2003.
- BRASIL, **Lei nº 9.394**, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Poder executivo, Brasília, DF, v.134, n.248, p.27833-41, 23 de dezembro de 1996. Seção 1, Lei Darcy Ribeiro.
- BRASIL, Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio**. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 23/08/2007.
- BRASIL, Ministério da educação. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Secretaria de Educação Básica Volume 2, 135p, 2008.
- BRASIL, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília: Ministério da Educação/ Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002.
- BROCKINGTON, José Guilherme de oliveira. **A realidade escondida: A dualidade onde-partícula para estudantes do Ensino Médio**. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências, USP, 2005.

CAMARGO, Antônio José. **A Introdução da Física Moderna no 2.o Grau: Obstáculos e Possibilidades**. Dissertação de mestrado. UFSC/CED. Florianópolis-SC, 1996.

CHAVES, Taniamara Vizzoto. **Textos de divulgação científica no Ensino de Física Moderna na Escola Média**. Dissertação de Mestrado em Educação. UFSM, 2002.

CIMA, Vanderlei André. **Ensino de Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica: Retratos de um Desafio Docente**. Dissertação de Mestrado. PPGECT, UFSC-2007.

CORRÊA, Ana Lúcia Lopes. **A Prática de leitura e escrita de alunos do ensino médio sobre Física Moderna e Contemporânea**. Dissertação de Mestrado em Educação, UFMG, 2003.

DREXLER, Eric. Entrevista concedida ao Instituto Humanitas Unisinos em maio de 2008. Disponível em: [http://www.ihu.unisinos.br/index.php?option=com\\_entrevistas&Itemid=29&task=entrevista&id=14302](http://www.ihu.unisinos.br/index.php?option=com_entrevistas&Itemid=29&task=entrevista&id=14302). Acesso em 12 de agosto de 2008.

EINSTEIN, Albert e INFELD, Leopold. **A Evolução da Física**. Tradução de Giasone Rebuá. Zahar Editores, Rio de Janeiro, 1976.

FOUREZ, Gerard. **A construção das Ciências: Introdução à filosofia e à ética das ciências**. Tradução de Luiz Paulo Rouant. São Paulo : Editora UNESP, 1995.

FOUREZ, Gérard; LECOMPTE, V. E.; GROOTAERS, D.; MATHY, P. & TILMAN, F. **Alfabetización científica y tecnológica. Acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias**. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Colihue, 1997.

FOUREZ, Gérard, et al. **POINTS STRATEGIQUES POUR UN TRAVAIL INTERDISCIPLINAIRE**. Les Cahiers *pédagogiques du Centre Interfaces*. N° 12. FUNDP, Namur, Belgique, 2002.

FOUREZ, Gérard. **Crise no Ensino de Ciências?** Investigações em Ensino de Ciências. Tradução de Carmem Cecília de Oliveira. V8(2), pp. 109-123, 2003.



FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educação**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GALISON, Peter. **Os relógios de Einstein e os mapas de Poincaré**. Impérios do tempo. Gradiva Publicações, 2005.

GIL, Antônio Carlos., **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. – São Paulo: Atlas, 2002.

HAMBURGER, Ernst W. **O que é Física?** Brasiliense, coleção Primeiros Passos, 2ª edição, São Paulo, 1984.

HERNÁNDEZ, Fernando. **Transgressão e mudança na educação: Os projetos de trabalho**. Trad. Jussara Albert Rodrigues. Porto Alegre, ArtMed, 1998.

JUNIOR, Osvaldo Canato. **Texto e Contexto para o Ensino de Física Moderna e Contemporânea na Escola Média**. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências, USP, 2003.

KUHN, T. S.; **A Estrutura das revoluções científicas**. S. Paulo, Perspectiva, 1975.

LORENZETTI, Leonir. **Alfabetização Científica no Contexto das Séries Iniciais**. Dissertação de mestrado. Florianópolis-SC, UFSC, 2000.

MACHADO, Daniel Iria e NARDI, Roberto. **Uma abordagem construtivista ao ensino de Física Moderna com a hipermídia**. In: Formação de Professores e Práticas Pedagógicas no Ensino de Ciências: Contribuições da pesquisa na área. Organizadores: BASTOS, Fernando e NARDI, Roberto. Cap. 14 (p. 327-356). Escrituras Editora, São Paulo, 2008.

MAINGAIN, Alain. **La construction d'un îlot interdisciplinaire de rationalité sur La notion de mythe**. Les Cahiers *pédagogiques du Centre Interfaces*. N° 04. FUNDP, Namur, Belgique, 2000.

MARCONI, Marina de Andrade e LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de Pesquisa**. 2ª Ed. revista e ampliada. São Paulo, Editora Atlas S.A., 1990.

MARTINS, Paulo Roberto. **Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente no Brasil: Perspectivas e Desafios**. Encontro Nacional da Anppas, 2004. Disponível em: [http://www.anppas.org.br/encontro\\_anual/encontro2/GT/GT09/paulo\\_martins.pdf](http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/GT/GT09/paulo_martins.pdf). Acesso em 07/08/07.

MARTINS, Paulo Roberto. **Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente - 1º Seminário Internacional**. Associação Editorial Humanistas, São Paulo, 2005.

MARTINS, Paulo Roberto. **Revolução Invisível, Desenvolvimento recente da nanotecnologia no Brasil**. São Paulo, Xamã Editora, 2007.

MEDEIROS, Alexandre. **A História da Ciência e o Ensino de Física Moderna**. In: A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil: alguns recortes. Organizador: Roberto Nardi. Escrituras Editora, São Paulo, 2007.

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

MINET, Antoinette. **Nanotechnologies: l'industrie choisit la sécurité, Namur fixera la norme**. Magazine des Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix Namur. Trimestriel, N° 56 - Janvier, 2006. Disponível em : <http://www.fundp.ac.be/universite/services/relext/presse/publications/librecours/lc56/lc56/lc56pdf> . Acesso em 01/06/09.

NARDI, Roberto. **A área de Ensino de Ciências no Brasil: fatores que determinaram sua constituição e suas características segundo pesquisadores brasileiros**. In: A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil: alguns recortes. Organizador: Roberto Nardi. Escrituras Editora, São Paulo, 2007.

PIETROCOLA, Mauricio. NEHRING, Cátia Maria. SILVA, Cibele Celestino. TRINDADE, José Análio de Oliveira. LEITE, Raquel Crosara Maia. PINHEIRO, Terezinha de Fátima. **As ilhas de**

**racionalidade e o saber significativo: o ensino de ciências através de projetos.** In: Ensaio – pesquisa em educação em Ciências. v. 2. nº 1. Março. 2000.

PIETROCOLA, M.; PINHO ALVES, J. e PINHEIRO, T. F. **Prática interdisciplinar na formação disciplinar de professores de ciências.** In: Investigações em ensino de ciências, vol.8, n.2, 2003. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/>. Acesso em 20/01/08.

PINHEIRO, T. F., PINHO ALVES, J. & PIETROCOLA, M. **Um exemplo de construção de uma Ilha de Racionalidade em torno da noção de energia.** Ata Eletrônica do VII EPEF. Florianópolis. Março. 2000.

PINHO ALVES, José. Atividades Experimentais: **Do método à Prática Construtivista.** Tese de doutorado. Florianópolis-SC, UFSC, 2000.

POSTMAN, Neil. **Tecnopólio: a rendição da cultura à tecnologia.** São Paulo: Nobel, 1994.

OLIVEIRA, Fábio Ferreira de. **O Ensino de Física Moderna com Enfoque CTS: Uma proposta metodológica para o Ensino Médio usando o tópico Raios X.** Dissertação de Mestrado em Educação. UFRJ, 2006.

OSTERMANN, F. e MOREIRA, Marco Antonio. **Uma Revisão Bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”.** Investigações em Ensino de Ciências. Volume5, pp. 23-48, 2000.

REZENDE JÚNIOR, Mikael Frank. **O Processo de Conceitualização em Situações Diferenciadas na Formação Inicial de Professores de Física.** Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica/UFSC, Florianópolis, 2006.

ROGERS, Peter. **Preparando-se para Enfrentar a Crise da Água.** Revista Scientific American Brasil. Setembro de 2008.

ROUKES, Michael. **Espaço Suficiente lá embaixo.** In: Scientific American Brasil. Edição Especial: Nanotecnologia, 2008.

SALEM, Sonia; KAWAMURA, M. Regina. **Simpósios Nacioanis de Ensino de Física: Uma Sistematização**. In: XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2007, São Luis. Atas do XVII SNEF, 2007.

Santa Catarina. Secretaria do Estado da Educação e do Desporto. Diretoria de Recursos Humanos – DIRH. **Proposta Curricular de Santa Catarina**. Disponível em: <<http://www.sed.rct-sc.br/concurso/proposta%20curricular.zip>> Acesso em: 25 fev. 2007.

SANTOS, Carlos Alberto dos. **Tópicos de Física Moderna**. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2007.

SCHMITZ, César. **Desafio Docente: As Ilhas de Racionalidade e seus elementos Interdisciplinares**. Dissertação de Mestrado. UFSC, Florianópolis, 2003.

SCHULZ, P. A.. **De volta para o futuro: os precursores da nanotecnociência**. In: III Ciclo de Estudos Desafios da Física para o Século XXI, 2008, São Leopoldo. Cadernos IHU idéias. São Leopoldo : unisinos, 2007. v. 95.

SILVA, Cesar José da. **O Efeito Fotoelétrico: Contribuições ao ensino de Física Contemporânea no segundo grau**. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências, USP, 1994.

SILVA, Marise Borba. **Nanotecnologia: Considerações interdisciplinares sobre processos técnicos, sociais, éticos e de investigação**. Impulso, Piracicaba. Unimep, V.14, n.35, 2003.

SOUZA, Carlos A. **Investigação-ação escolar e resolução de problemas de física: o potencial dos meios tecnológico-comunicativos**. Tese de doutorado. Florianópolis, Programa de Pós-graduação em Educação, CED/UFSC, 2000.

TERRAZZAN, E. A. **A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Fpolia, v. 9, nº 3, p.209-214, dez. 1992.

TERRAZZAN, A. **Perspectivas para inserção da Física Moderna na escola média**. Tese de doutorado. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 1994.

VALADARES, Eduardo Campos; CHAVES, Alaor S.; ALVES, Esdras Garcia. **Aplicações da Física Quântica: Do transistor à Nanotecnologia**. 1ª Ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

WILLIAMS, Stanley. **Depoimento do pesquisador à Subcomissão de Ciência, Tecnologia e Espaço da Comissão para Comércio, Ciência e Transporte do Senado dos Estados Unidos**. Prestado em 17 de setembro de 2002. Publicada em 06 de janeiro de 2003. Disponível em <http://www.inovacao.unicamp.br/especial/nanotech/inte-stan.html>. Acesso em 02 de agosto de 2007.



ANEXOS

## 1. Questionários



## 1.1 Questionário aplicado após Seminário

Questionário da Pesquisa  
“Nanociência e Nanotecnologia”

Apoio: CNPq

1 – Você já conhecia ou já teve algum contato (através de jornal, revista, TV, internet ou outros) com o tema: Nanociência e Nanotecnologia?

 Sim Não

2 – Se sim, assinale qual meio lhe proporcionou o contato?

 TV Jornal Revista Internet Escola Outros \_\_\_\_\_

3 – O que você pensa sobre a Nanociência e a Nanotecnologia?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

4 – Você considera interessante que o Ensino das Ciências Naturais e Exatas (Física, Química, Biologia e Matemática) inclua discussões sobre o papel da ciência e da tecnologia na sociedade? Por quê?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

5 – O conhecimento da Física é suficiente para estudar todas as questões relacionadas com a Nanociência e a Nanotecnologia?

Sim

Não

6 – Que outras disciplinas poderiam auxiliar no entendimento da Nanociência e da Nanotecnologia?

---

---

---

---

7 – Você já tinha ouvido falar ou já teve algum contato com a Física Moderna ou Física Quântica?

Sim

Não

8 – Se já ouviu assinale onde?

TV

Jornal

Revista

Internet

Escola

Outros \_\_\_\_\_

9 – O que você pensa acerca desse tema (Física Moderna ou Física Quântica)?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 1.2 Questionário aplicado na SEPEX

## Questionário da Pesquisa

“Ensino de FMC por meio da Nanociência e Nanotecnologia”

Apoio: CNPq

Florianópolis, 24 de outubro de 2008.

1 – Você já conhecia ou já teve algum contato (através de jornal, revista, TV, internet ou outros) com o tema: Nanociência e Nanotecnologia? Se sim, assinale qual meio lhe proporcionou o contato e em seguida escreva sobre o contexto do qual o tema estava inserido.

- TV                       Jornal                       Revista  
 Internet  
 Escola                       Outros \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

2 – Baseado na apresentação do mini-curso, qual seu ponto de vista acerca do tema Nanociência e Nanotecnologia?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

3 – Você considera interessante que o Ensino das Ciências Naturais e Exatas (Física, Química, Biologia e Matemática) no Ensino Básico inclua discussões sobre o papel da ciência e da tecnologia na sociedade? Por quê?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

4 – Você considera o conhecimento da Física suficiente para estudar todas as questões relacionadas com a Nanociência e a Nanotecnologia?

Sim

Não

5 – Que outras disciplinas poderiam auxiliar no entendimento da Nanociência e da Nanotecnologia?

---

---

---

---

---

6 – A origem da Nanociência e Nanotecnologia tornou-se possível graças aos conhecimentos da Física, que vêm sendo construídos desde o final do século XIX, e que permitiram compreender principalmente a estrutura e comportamento microscópico da matéria. Durante sua formação na Educação Básica você estudou algum conceito relacionado com esta parte da Física?

Sim

Não

7 – Você acredita que o ensino de Física do Ensino Médio deve contemplar essa nova Física? Justifique sua resposta.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 2. Análise Quantitativa dos Questionários

## 2.1 Análise do Questionário do Seminário

Análise do Questionário aplicado após o seminário:

“Nanociência: sua ciência, tecnologia e implicações sociais”

Quantidade de alunos que responderam o questionário: 35

	Sim	Não
Alunos que já conheciam ou que já tiveram algum contato com o tema	18	17

Meio pelo qual tiveram contato com o tema:

TV	Escola	Jornal	Revista	Internet	Outros
15	4	4	6	5	2

	Sim	Não
O conhecimento da Física é suficiente para estudar todas as questões relacionadas com a Nanociência e a Nanotecnologia?	4	31

Disciplinas que poderiam auxiliar no entendimento da Nanociência e Nanotecnologia:

Química	27
Biologia	22
Matemática	15
História	3
Filosofia	2
Todas	2
Medicina Veterinária	1
Farmácia	1
Engenharia Mecânica	1
Robótica	1
Geografia	1
Religião	1

	Sim	Não
Já tinham ouvido falar sobre Física Moderna ou Física Quântica	22	13

## 2.2 Análise do Questionário da SEPEX

“Nanotecnologia: sua ciência e implicações sociais.”

Quantidade de participantes que responderam o questionário: 10

Participantes que já conheciam ou já tiveram algum contato com o tema	Si 0
---	---------

Meio pelo qual tiveram contato com o tema:

TV	Escola	Jornal	Revista	Internet	Outros
1	1	1	4	6	3

	Sim	Não
O conhecimento da Física é suficiente para estudar todas as questões relacionadas com a Nanociência e a Nanotecnologia?	09	01

Disciplinas que poderiam auxiliar no entendimento da Nanociência e Nanotecnologia:

Biologia	7
Química	7
Matemática	4
Sociologia	4
Filosofia	2
Engenharia Ambiental	2
Língua estrangeira	1
Engenharia de Alimentos	1
Engenharia dos Materiais	1
Serviço social	1
Ética	1
História	1
Todas	1

	Sim	Não
Estudaram algum tópico de FMC durante o Ensino Médio	04	06



O Ensino de Física do Ensino Médio deve contemplar a FMC?	10	00
---	----	----

### 3. Comentário sobre os artigos

### 3.1 Comentários dos artigos sobre Nano

Artigo 01 – **“O que é nanociência e para que serve a Nanotecnologia?”** Peter A. B. Schulz. In: Física na Escola, v.6, n.1, 2005.

O título do artigo é bem propício e coerente com o que é abordado. Inicialmente é feita uma significação do prefixo nano. Em seguida são apresentadas algumas tecnologias com o intuito de fazer o leitor pensar sobre a necessidade de novas tecnologias, para então contextualizar a origem da Nanotecnologia. É mencionada a famosa palestra de Feynman e a audaciosa idéia de Drexler, sobre a auto-organização. Também é feita uma breve abordagem sobre as partículas coloidais, fazendo referência ao trabalho de Einstein, sobre o movimento Browniano, e à experiência de Millikan, duas experiências fundamentais e que necessitavam de partículas muito pequenas e homogêneas. Ainda são apresentados os dois métodos (top-down e bottom-up) utilizados para fazer nanotecnologia e algumas aplicações bem antigas, como o cálice de Lycurgus.

Trata-se de um artigo que pode ser sugerido em qualquer série do Ensino Médio e até do Ensino Fundamental. Dependendo dos objetivos do professor e da curiosidade dos alunos será necessário algumas intervenções durante ou após a leitura e/ou sugerir leituras complementares. Entretanto, se o professor optar por usar a hipermídia, elaborada nesta pesquisa (ver página nano no anexo sete), e não tiver interesse em chamar atenção para história relacionada aos trabalhos de Einstein e Millikan<sup>45</sup>, a utilização deste texto em sala de aula pode ser dispensada, podendo ficar apenas para leitura complementar em casa.

Artigo 02 – **“Nanotecnologia: no coração da matéria”**. Fátima Cardoso. In: Revista Superinteressante, Maio de 1992.

Neste artigo é feita uma introdução sobre a origem da Nanociência e Nanotecnologia e suas possíveis aplicações. Todo esforço é para apresentar e explorar, de uma forma clara, com uma linguagem bem acessível, o funcionamento do microscópio de tunelamento; grande responsável por todo esse desenvolvimento. O fato mais interessante deste texto é que, por se tratar de um texto mais antigo, ele aponta prováveis aplicações e possibilidades da Nanotecnologia, que na época

---

<sup>45</sup> Dos treze artigos sugeridos este é o único que menciona essas experiências citando o nome destes Físicos. O artigo treze sugere experimentos semelhantes, como o da gota de óleo sobre água, mas sem os detalhes que são fornecidos neste artigo.

era só especulação e que hoje já são possíveis. Permitindo que ao ler este texto nos dias atuais o estudante perceba o quanto que esta área já se desenvolveu em um intervalo de tempo que pode ser considerado pequeno.

Artigo 03 – “**Nanociência e Nanotecnologia: o gigantesco e promissor mundo do muito pequeno**”. Henrique E. Toma e Koiti Araki. In: *Ciência Hoje*. V.37, n. 217.

Neste artigo, são apresentadas algumas das perspectivas que estão se abrindo com essa grande onda inovadora que é a Nanotecnologia. Inicialmente é feito uma significação do prefixo nano, enfatizando que nesta dimensão há dois aspectos a serem considerados: a redução da escala de dimensão, que acaba refletindo diretamente no comportamento dos materiais e os efeitos quânticos. Em seguida são apresentadas algumas aplicações que já estão no mercado e das promessas da Nanotecnologia, que vão desde o protetor solar até a computação quântica. Além disso, apresenta um panorama dos investimentos na área no âmbito mundial e nacional e faz um breve apontamento sobre as perspectivas desta área no Brasil. Mas em nenhum momento é feito uma reflexão, ou algum alerta sobre os possíveis riscos destas aplicações.

Artigo 04 – “**Nanotecnologia**”. Instituto inovação. Setembro de 2005.

Este trabalho desenvolvido pelo Instituto Inovação<sup>46</sup>, como os anteriores, começa com uma significação do termo nano, da Nanociência e da Nanotecnologia de uma forma bem introdutória. Mas depois retorna ao questionamento sobre o que a Nanotecnologia e de uma maneira bem didática, inclusive com o uso de algumas ilustrações verticaliza essa questão. São apresentados os principais benefícios dos avanços da Nanotecnologia e também dos seus riscos. Enfatiza o interesse principalmente dos países desenvolvidos nesta área de pesquisa, uma vez que reconhecem a importância do domínio desta tecnologia. Comenta sobre o investimento brasileiro nesta área e ressalta que este não acompanha o ritmo de crescimento das publicações científicas sobre o tema. “O Brasil já dispõe de algumas pesquisas de ponta, tanto básicas quanto aplicadas, mas carece de empresas que invistam na transformação desses conhecimentos em produtos.”

---

<sup>46</sup> O instituto Inovação trabalho na aceleração de projetos e negócios baseados em inovação tecnológica e na dinamização da cadeia de inovação brasileira. Seu objetivo máximo é promover a aproximação entre a produção tecnológica do país e a sociedade.

(INOVAÇÃO, 2005). Além disso, alerta ao fato de embora ser uma área recente, ainda em desenvolvimento que necessita de estudos mais aprofundados acerca dos riscos, diversos produtos inovadores, baseados na Nanotecnologia já são comercializados no mercado mundial.

Artigo 05 – “**Nanotecnologia: a revolução invisível**”. Jô Santucci. In: Revista Mensal do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Rio Grande do Sul. Ano IV, n. 48.

Inicialmente o autor faz uma contextualização da Nanotecnologia. Fazendo alguns questionamentos e algumas relações entre a escala nanométrica e métrica, o autor traça o caminho da Nanotecnologia desde a palestra de Feynman até os dias atuais. Além disso, é apontada a necessidade da interdisciplinaridade para o desenvolvimento desta área de pesquisa. É dada ênfase a Nanotecnologia do petróleo, nos desafios e perspectivas desta área, ressaltando que uma das metas perseguida na Nanotecnologia é reduzir a quantidade de matéria prima para gerar menos poluentes e realizar transformações em condições suaves. O autor finaliza apresentando o incentivo de algumas empresas à Nanotecnologia, o que deixa esse trabalho ainda mais interessante para ser discutido em sala de aula. Pois permite ao estudante perceber esse viés, interesse e incentivo, do desenvolvimento tecnológico. Entretanto, apesar de mencionar que a nanociência lida com fenômenos no campo de química e da física quântica, aliados à biologia e outros ramos da ciência e que permite criar produtos e processos com propriedade e características totalmente novas, ou pelo menos bem melhores, como um *tecnófilo* (POSTMAN, 1994) apresenta apenas vantagens, sem ter apreensão alguma quanto as possíveis implicações.

Artigo 06 – “**Ferramentas Magnéticas na escala do átomo**”. Marcelo Knobel e Geraldo F. Goya. In: Scientific American Brasil.

Este texto apresenta algumas aplicações relacionadas à Nanotecnologia. Mostra um panorama das principais pesquisas na área no âmbito nacional. Todas as aplicações apresentadas estão relacionadas com efeitos magnéticos. Aplicações que vão desde o tratamento de um câncer até a contenção de derrames de óleo no mar com barreiras magnéticas. Também aborda aspectos relacionados ao tunelamento quântico e apresenta algumas questões relacionadas ao desenvolvimento da Nanotecnologia apresentando os principais grupos de pesquisas do Brasil. É interessante que o leitor já tenha algum conhecimento, de

preferência já tenha estudado, sobre o eletromagnetismo para um melhor entendimento do texto. Como no artigo anterior não há nenhuma apreensão quanto aos possíveis riscos das aplicações apresentadas, abordando apenas as vantagens destas.

Artigo 07 – **“O desenvolvimento da nanotecnologia: cenário mundial e nacional de investimentos”**. Betina Giehi Zanetti-Ramos e Tânia Beatriz Creczynski-Pasa. In: Revista Brasileira de Farmácia. 2008

Este artigo fornece informações do cenário atual e futuro de investimentos e o potencial de desenvolvimento da Nanotecnologia. Apontando esta área como um dos principais focos das atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação em todos os países industrializados do mundo. As autoras informam que os investimentos superam dois bilhões de dólares por ano e o seu desenvolvimento tem sido apontado como uma nova revolução tecnológica, que, em ritmo acelerado de crescimento, simboliza uma área estratégica para economias consolidadas e emergentes, promovendo uma competição tecnológica mundial, dentro de um mercado de um trilhão de dólares estimados para o período entre 2010 e 2015.

Ressaltam que o vocábulo nanotecnologia vem de nanômetro, medida que equivale à bilionésima parte do metro, algo, quase 100 mil vezes, menor do que a espessura de um fio de cabelo. O que também pode ser entendida como a arte de manipular a matéria em nível atômico, construindo moléculas inéditas, com propriedades diferentes. Apontam as várias possibilidades de aplicações desta área e alertam para o fato de que muitas destas aplicações já se encontram no mercado, revolucionando aplicações de diversos produtos, mudando radicalmente o custo produtivo de muitas indústrias, podendo tornar os produtos não nano alternativas, muitas vezes, não competitivas.

O texto não trata de questões relacionadas à segurança e regulamentação destas novas aplicações, mas trata de questões importantíssimas relacionadas ao desenvolvimento tecnológico, a política e ao mercado. Interessante para ser trabalhado com os professores das disciplinas que fazem parte do grupo das ciências humanas e suas tecnologias, podendo ser utilizado na terceira, na quarta ou ainda como preparação para a sexta etapa da IIR.

Artigo 08 – **“Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectiva e riscos”**. Frank H. Quina. In: Química Nova. V. 27. N. 6, 2004.

Trata-se de uma carta enviada à editora da revista Química Nova pelo professor Frank Quina, um dos diretores do Centro de Capacitação e Pesquisa em Meio-Ambiente (CEPEMA) da USP, em que é exposta uma reflexão sobre o desenvolvimento da Nanotecnologia e seu impacto sobre o meio ambiente. O autor alerta para o fato de que embora as perspectivas dos benefícios da nanotecnologia para a melhoria do meio ambiente sejam animadoras, não se deve subestimar o potencial para os danos ao meio ambiente. Uma vez que as mesmas características que tornam as nanopartículas interessantes do ponto de vista de aplicação tecnológica, podem ser indesejáveis quando essas são liberadas ao meio ambiente. O pequeno tamanho das nanopartículas facilita sua difusão e transporte na atmosfera, em águas e em solos, ao passo que dificulta sua remoção por técnicas usuais de filtração. Pode facilitar também a entrada e o acúmulo de nanopartículas em células vivas. De modo geral, sabe-se muito pouco ou nada sobre a biodisponibilidade, biodegradabilidade e toxicidade de novos nanomateriais.

Um texto bem pequeno, apenas duas laudas, mas que traz questões muito interessantes para ser discutidas ao longo das etapas da IIR e que com certeza contribuíram para a construção do relatório final. Durante ou no final da etapa três o professor poderá sugerir que os alunos leiam este texto em casa e anotem seus questionamentos para ser trabalhados na etapa quatro ou seis.

**Artigo 09** – “Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente no Brasil: perspectivas e desafios”. **Paulo Roberto Martins**. In: **Encontro Nacional da Anppas, 2004. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro2/GT/GT09> Acesso em 07/08/07.**

Este artigo visa traçar o desenvolvimento recente e perspectivas da nanotecnologia no Brasil, bem como, identificar o entendimento que cada segmento social pesquisado tem sobre as relações entre nanotecnologia, sociedade e meio ambiente e propor diretrizes para políticas públicas no que toca a estas interrelações. O autor justifica seu trabalho na importância econômica, importância tecnológica, importância social e importância teórica do tema tratado.

É apresentado um marco teórico da Nanociência e Nanotecnologia, fazendo um alerta aos impactos, assim como às possíveis implicações e para o lado ainda desconhecido das aplicações nesta dimensão. E acreditamos que seja esta a maior contribuição deste

artigo. Sem ser *tecnóforo* (POSTMAN, 1994), especificamente neste trabalho, o autor alerta para os impactos que poderão ser sentidos devido o mau uso da Nanotecnologia, enfatizando que toda nova trajetória tecnológica traz conseqüências desejadas e não desejadas para a sociedade. Assim com o texto anterior este pode ser trabalhado na quarta ou sexta etapa da IIR.

Artigo 10 – **“Do metro ao nanometro: um salto para o átomo”**. Anderson L. Ellwanger, Solange B. Fagan e Ronaldo Mota.

Este artigo aborda a elaboração e a implementação de um material instrucional que relaciona temas de Nanociências associados aos conteúdos trabalhados no Ensino Básico, como escalas, área superficial, volume, magnetismo, eletricidade, etc. Os autores enfatizam que esta nova ciência e a sua aplicação, a Nanotecnologia, prometem em um futuro próximo uma revolução tecnológica e/ou industrial. E alertam para a falta de materiais didáticos que abordam este tema. Desta forma, elaboram um material didático-instrucional abordando principalmente as escalas de medida muito menores que o metro a ser aplicado em turmas de oitava série do Ensino Fundamental e terceiro ano do Ensino Médio no Colégio Riachuelo em Santa Maria - RS.

As atividades apresentadas são ideais para ser trabalhadas em conjunto com os professores de física e matemática durante a abertura de qualquer caixa preta relacionada à dimensão e às alterações que ocorrem nesta escala. Como por exemplo: “nanômetros”, “novos efeitos”, “novas possibilidades” e “nanopartículas”.

Artigo 11 – **“Abordagens em nanociência e nanotecnologia para o ensino médio”**. Ivana Zanella, Solange B. Fagan, Vanilde Bisognin e Eleni Bisognin. In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2009 – Vitória, ES.

Neste artigo os autores caracterizam a nanociência e a nanotecnologia, afirmando que estas emergem como áreas de grande destaque para o desenvolvimento científico e tecnológico em um futuro próximo. Além disso, colocam que várias áreas seguem como básicas para as nanociências, dentre elas citam a física, principalmente a física quântica, a química de estruturas moléculas, cristalinas ou amorfas e várias áreas do conhecimento convergem na manipulação nesta escala, tendo como conseqüência novos produtos e novas implicações na vida humana.



Apresentam a relação entre as escalas macroscópica, microscópica e nanométrica. Uma síntese das principais potencialidades da escala nanométrica, assim como, duas atividades, as quais envolvem a transição da escala macroscópica e microscópica para escala nanométrica. Para os autores essas atividades simples, que ilustram as potencialidades da escala nano, podem ser utilizadas com alunos do ensino fundamental, médio ou iniciantes nesta fascinante área. Eles apontam o grande aumento de área superficial, quando convergimos de uma escala macro para a nano, como uma das principais vantagens da Nanotecnologia. Esta é uma propriedade de grande interesse já que boa parte das aplicações depende do aumento da área de contato das partículas consideradas. Este fato é demonstrado, neste trabalho, a partir de uma abordagem simplificada de macroestruturas cúbicas e esféricas atingindo suas respectivas nanoestruturas, com um aumento substancial na área superficial das estruturas.

Como o artigo dez, este é ideal para ser trabalhado em conjunto com os professores de matemática e física durante a abertura de algumas caixas pretas relacionadas à dimensão nanométrica e alteração na área superficial.

**Artigo 12 – “Afiml, o que é Nanociência e nanotecnologia? Uma abordagem para o Ensino Médio”.** Suzeley Leite Abreu Silva, Marcelo Machado Viana e Nelcy Della Santina Mohallem. In: Química Nova na Escola. V. 31, n. 3, agosto de 2009.

A partir da história de Rita, uma curiosa aluna do Ensino Médio, que muito tem visto e ouvido sobre nanociência, nanotecnologia e nanopartículas, é abordado as dúvidas mais freqüentes dos alunos e discutido alguns conceitos básicos sobre nanociência e nanotecnologia. Ela quer descobrir o significado e a origem desses termos, como a Ciência está tratando do mundo nanométrico e se os nanomateriais são nocivos a saúde. Diante de suas dúvidas e interesse pelo tema esses conceitos e questionamentos são abordados com uma linguagem bem clara e de uma forma bem didática possibilitando, após a leitura, um posicionamento consciente acerca deste tema.

O professor poderá sugerir a leitura deste artigo para casa, pois é um texto bem didático, que prende a atenção e possui uma linguagem bem acessível, neste nível de ensino. Ou se preferir poderá utilizá-lo durante a abertura de alguma caixa preta relacionada à dimensão nanométrica, à nanopartículas ou a toxicidade dos nanomateriais.

Artigo 13 – **“Nanociência de baixo custo em casa e na escola”**. Peter A.B. Shulz. In: Física na Escola, v. 8, n.1, 2007.

Este artigo apresenta um conjunto de atividades e experimentos simples que permitem uma aproximação ao mundo da Nanociência para os estudantes do Ensino Médio. Segundo o autor, essa aproximação pode ser feita tanto em sala de aula, em outro ambiente escolar ou mesmo em casa, desde que de maneira supervisionada. Assim, salienta que embora a Nanotecnologia seja sofisticada, a Nanociência é também divertida e seus conceitos podem ser abordados na escola ou em casa com a ajuda de materiais bastante simples.

As atividades podem ser utilizadas durante a abertura de caixas pretas relacionadas com a escala nanométrica, às alterações das propriedades da matéria nesta escala e ao microscópio de tunelamento e de força atômica.

### 3.2 Comentários dos artigos sobre FMC

Artigo 01 – **“Introdução à mecânica dos Quanta . Parte I”**. Theodoro A. Ramos. In: Revista Brasileira de Ensino de Física, V. 25, n.3, setembro de 2003.

Neste artigo são apresentadas as notas da primeira conferência publicada originalmente no número de Novembro de 1931 no Boletim do Instituto de Engenharia, pp. 157-166. Nele os conceitos básicos da física ondulatória e da ótica geométrica são discutidos e a analogia entre a mecânica clássica e a ótica geométrica é explorada com vistas à introdução da mecânica ondulatória de Schrödinger.

Pela complexidade do ferramental matemático apresentado nesta série, que corresponde ao artigo 01, 02, 03 e 04, estes artigos não devem ser sugeridos aos alunos do Ensino Médio. Sua principal finalidade, aqui, é contribuir para a formação dos professores, trazendo informações que lhes auxiliarão durante a abertura de algumas caixas pretas relacionadas com a Física Quântica.

Artigo 02 – **“Introdução à mecânica dos Quanta . Parte II”**. Theodoro A. Ramos. In: Revista Brasileira de Ensino de Física, V. 25, n.4, dezembro de 2003.

Neste segundo artigo da série discute-se detalhadamente a equação de Schrödinger e a interpretação da função de onda de acordo com Born.

Artigo 03 - **“Introdução à mecânica dos Quanta . Parte III”**. Theodoro A. Ramos. In: Revista Brasileira de Ensino de Física, V. 26, n.1, 2004.

Neste terceiro artigo da série, o autor discute a transição da mecânica clássica para a velha teoria quântica de sistemas periódicos introduzindo as regras de quantização e o princípio de correspondência de Bohr.

Artigo 04 – **“Introdução à mecânica dos Quanta . Parte IV”**. Theodoro A. Ramos. In: Revista Brasileira de Ensino de Física, V. 26, n.1, 2004.

Neste quarto artigo o autor introduz a mecânica matricial de Heisenberg e mostra sua equivalência com a mecânica ondulatória de Schrödinger.

Artigo 05 – “**Mecânica quântica: uma nova imagem do mundo**”. A.F.R. de Toledo Piza. In: *Ciência Hoje*. V. 36, n.213.

Neste artigo o autor aborda as questões que deram origem a Mecânica Quântica. Ressaltando que diferentemente das chamadas ‘revoluções científicas’ anteriores, que incluíram embates com concepções prevaletentes fora dos domínios da ciência, as mudanças de perspectiva ocorridas no início do século passado envolveram revisões radicais de concepções próprias da física. Em particular, a transição do mundo físico como contemplado no último ano do século 19 para aquele visto, duas décadas mais tarde, através da mecânica quântica – teoria que teve que ser inventada para descrever os fenômenos do diminuto universo das entidades atômicas e moleculares –, é, até hoje, a mais profunda e também, em muitos aspectos, a mais desconcertante delas. Nas palavras recentes de um especialista, “a mecânica quântica é muito mais que apenas uma ‘teoria’, ela é uma forma completamente nova de ver o mundo”.

O professor poderá sugerir a leitura deste artigo para a, ou ao longo da etapa três ao abrir as caixas pretas relacionadas com a Mecânica Quântica ou para abordar algumas diferenças entre a Física Clássica e a FMC com enfoque na história da ciência. Pois como temos defendido neste trabalho a introdução da história da ciência no ensino de ciências permite perceber aspectos essenciais da natureza e da construção da própria ciência, contribuindo assim para atingir a ACT.

Artigo 06 – “**Quando o homem começou a ver os átomos!**”. Caio Mário Castro de Castilho, In: *Revista Brasileira de Ensino de Física*. V. 25, n. 4, dezembro, 2003.

Este artigo apresenta uma breve noção do desenvolvimento das idéias sobre os átomos e descreve os principais passos que levaram à obtenção das primeiras imagens de átomos individuais por E. W. Muller e colaboradores, na primeira metade da década de 50, no século XX.

O autor reforça que o conceito de átomo é anterior a qualquer tentativa de compreender a natureza a partir do experimento. Inicialmente tida como tarefa impossível, a obtenção de imagens capazes de evidenciar átomos individualmente foi conseguida na metade do século recém-findo mediante a técnica de Microscopia Iônica.

O artigo, muito rico em informações históricas relacionadas aos modelos atômicos, pode ser utilizado para contribuir com a formação dos professores e auxiliar a equipe durante a abertura de caixas pretas relacionadas com o modelo atômico ou com os microscópios.

Artigo 07 – “**Microscópio de tunelamento com varredura (STM) microscópio de força atômica (AFM)**”. Fabiano Carvalho Duarte.

Neste artigo são explorados os princípios físicos do Microscópio de Tunelamento com Varredura e o Microscópio de Força Atômica. Segundo o autor existem diversas técnicas para observação de detalhes ampliados de superfícies, como, por exemplo, com lentes, usando um microscópio ótico, inventado no século XVIII. Neste século, foram desenvolvidos métodos de visualização baseados em feixes de íons ou de elétrons mas a idéia dos microscópios de sonda é totalmente diferente. Graças à invenção do microscópio de tunelamento (STM), passou a ser possível não só ver mas medir e manipular átomos ou moléculas. A invenção do STM desencadeou o desenvolvimento de uma grande variedade de microscópicos de varredura por sonda capazes de obter imagens com magnificações muito altas. Para que isso ocorra os sensores usados neste tipo de aparelhos são: para o microscópio de tunelamento, uma ponta metálica de dimensões quase atômicas que é varrida muito próxima da superfície da mostra para fazer tunelamento entre ela e a amostra; para o microscópio de força atômica, um sensor de força em forma de ponta condutora ou isolante e para o SNOM uma fibra ótica.

Este artigo poderá contribuir com a formação dos professores e auxiliá-los durante a abertura de caixas pretas relacionadas aos microscópios e ao efeito túnel. Além disso, fornece imagens riquíssimas que poderão ser utilizadas durante a abertura dessas caixas pretas.

Artigo 08 – “**Sobre a teoria quântica da radiação**”. A. Einstein. In: Revista Brasileira de Ensino de Física. V. 27, n. 1, 2005.

Neste artigo são repetidas as considerações de Einstein sobre a teoria quântica da radiação. Pela complexidade matemática presente, este artigo não deve ser sugerido aos alunos do Ensino Médio. Entretanto o professor, por se tratar de um artigo escrito por Einstein, com importantes informações históricas, poderá selecionar alguns extrato e trabalhar em conjunto com a equipe. Aqui sua principal finalidade é contribuir para a formação dos professores, trazendo informações que lhes auxiliarão durante a abertura de caixas pretas relacionadas com a Física Quântica, principalmente com a quantização de energia.

Artigo 09 – “**Limite clássico da mecânica quântica**”. A. O. Bolívar. In: Revista Brasileira de Ensino de Física. V.25, n. 2, junho, 2003.

Neste artigo, é apresentado um procedimento alternativo para o cálculo do limite clássico das equações de movimento da mecânica quântica. Os autores comparam esse método com o teorema de Ehrenfest, a aproximação WKB e com o potencial quântico de Bohm. Segue, também, a tradução de um artigo do Einstein sobre a problemática da conexão entre as teorias clássica e quântica.

Como no artigo anterior, a complexidade matemática presente neste artigo inviabiliza sua leitura por alunos do Ensino Médio. Sua principal finalidade também é contribuir com a formação dos professores, trazendo informações que lhes auxiliarão durante a abertura de caixas pretas relacionadas com a Física Quântica.

Artigo 10 – “**Nascimento da Física**”. José Maria Filardo Bassalo. In: Revista Brasileira de Ensino de Física. V.20, n. 2, junho, 1998.

Neste artigo são apresentados em forma de verbetes os principais fatos referentes aos conceitos físicos relacionados ao movimento dos corpos, surgidos no século XX. Como nos artigos anteriores, a complexidade matemática presente aqui inviabiliza sua leitura por alunos do Ensino Médio. Sua principal finalidade é contribuir com a formação dos professores, trazendo informações que lhes auxiliarão caso haja caixas pretas relacionadas com a relatividade restrita e geral.

Artigo 11 – “**Nascimento da Física**”. José Maria Filardo Bassalo. In: Revista Brasileira de Ensino de Física. V.21, n. 2, junho, 1999.

Idem ao anterior. Entretanto aqui o foco é o “nascimento” da eletrodinâmica quântica. Assim, sua principal finalidade é contribuir com a formação dos professores, trazendo informações que lhes auxiliarão durante a abertura de caixas pretas relacionadas com a Física Quântica.

Artigo 12 – “**Experiências em Física Moderna**”. Marisa Almeida Cavalcante e Cristiane Rodrigues Caetano Tavoraro. In: Física na Escola. V.6, n. 1, 2005.

Neste artigo é dado enfoque à caracterização das radiações que compõem o espectro eletromagnético. Segundo as autoras os recursos de baixo custo e a metodologia desenvolvida constituem uma ferramenta

tecnológica acessível para identificação das radiações no estudo dos mais variados tipos de estruturas, de gases a sólidos incandescentes.

As atividades experimentais abordadas podem ser realizadas durante a abertura de caixas pretas relacionadas com as radiações eletromagnéticas, com a quantização da luz ou ainda para caracterizar a constante de Planck.





## 4. Tradução de Palestra de Richard Feynman

**Há mais espaços lá embaixo<sup>47</sup>**

Um convite para penetrar em um novo campo da física

*Richard P. Feynman*

Eu imagino que um físico experimental deva frequentemente olhar com inveja para homens como Kamerlingh Onnes, que descobriu o campo das baixas temperaturas, que parece não ter fim e no qual pode-se sempre ir mais e mais fundo. Um homem assim é um líder e tem um certo monopólio temporário na aventura científica. Percy Bridgman, ao projetar um meio de obter altas pressões, abriu outro novo campo e foi capaz de penetrar nele e de orientar-nos nesse novo percurso. O desenvolvimento de vácuos mais e mais perfeitos foi um desenvolvimento contínuo do mesmo tipo. Eu gostaria de descrever um campo no qual pouco tem sido feito, mas no qual, em princípio, uma enormidade pode ser conseguida. Esse campo não é exatamente do mesmo tipo que os outros, no sentido em que não nos dirá muito sobre a física fundamental (na linha de "o que são as partículas estranhas?"), mas assemelha-se mais com a física do estado sólido, no sentido em que pode dizer-nos muitas coisas de grande interesse sobre os estranhos fenômenos que ocorrem em situações complexas; além disso, um aspecto muito importante é que esse campo terá um enorme número de aplicações técnicas.

O que eu quero falar é sobre o problema de manipular e controlar coisas em escala atômica. Tão logo eu menciono isto, as pessoas me falam sobre miniaturização e o quanto ela tem progredido nos dias de hoje. Elas contam-me sobre motores elétricos com o tamanho de uma unha do seu dedo mindinho. E que há um dispositivo no mercado, dizem elas, com o qual pode-se escrever o *Pai Nosso* na cabeça de um alfinete. Mas isso não é nada: é o passo mais primitivo e hesitante na direção que eu pretendo discutir. É um novo mundo surpreendentemente pequeno. No ano 2000, quando olharem para esta época, elas se perguntarão por que só no ano de 1960 que alguém começou a se movimentar seriamente nessa direção.

---

<sup>47</sup> Esta é a transcrição de uma conferência dada pelo físico norte-americano Richard Feynman em 29 de dezembro de 1959, no encontro anual da Sociedade Americana de Física (APS) no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech). Foi publicado pela primeira vez na edição de fevereiro de 1960 do Caltech's Engineering and Science. Pode ser também encontrado no Journal of Microelectromechanical Systems, vol. 1, número 1, pág. 60, de março de 1992.

*Por que não podemos escrever os 24 volumes inteiros da Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete?*

Vamos ver o que estaria envolvido nisso. A cabeça de um alfinete tem um dezesseis avos de polegada de largura. Se você aumentar seu diâmetro 25.000 vezes, a área da cabeça do alfinete será igual a área de todas as páginas da Enciclopédia Britânica. Assim, tudo o que se precisa fazer é reduzir 25.000 vezes em tamanho todo o texto da Enciclopédia. Isso é possível? O poder de resolução do olho é de cerca de 1/120 de uma polegada - aproximadamente, o diâmetro de um dos pequenos pontos em uma das boas e vetustas edições da Enciclopédia. Isto, quando você diminui em 25.000 vezes, ainda tem 80 angstroms de diâmetro - 32 átomos de largura, em um metal ordinário. Em outras palavras, um daqueles pontos ainda poderá conter em sua área 1.000 átomos. Assim, cada ponto pode ter seu tamanho facilmente ajustado segundo o requerido pela gravação, e não resta dúvida sobre se há espaço suficiente na cabeça de um alfinete para toda a Enciclopédia Britânica.

Além disso, ela poderá ser lida se puder ser escrita dessa forma. Imaginemos que ela seja escrita em letras em alto-relevo de metal; ou seja, onde existe o preto na Enciclopédia, fazemos letras de metal em alto-relevo com 1/25.000 do seu tamanho ordinário. Como leríamos isso?

Se tivéssemos algo escrito dessa forma, poderíamos lê-lo usando técnicas hoje comuns. (Eles indubitavelmente encontrarão um meio melhor quando o tivermos de fato escrito, mas, para sermos realistas, vou considerar apenas técnicas conhecidas hoje.) Pressionaríamos o metal sobre um material plástico e faríamos um molde; então, tiraríamos muito cuidadosamente o plástico; vaporizaríamos sílica sobre o plástico para obter um filme bem fino; depois, sombrearíamos a sílica, vaporizando ouro em ângulo contra ela, de forma que todas as letras apareçam claramente; dissolveríamos o plástico do filme de sílica; e então olharíamos através do filme com um microscópio eletrônico!

Não há dúvida de que, se tudo fosse reduzido 25.000 vezes na forma de letras em alto-relevo no alfinete, hoje seria fácil para nós lermos-las. Além disso, não há dúvida de que acharíamos fácil fazer cópias da matriz; precisaríamos apenas de prensar a mesma placa de metal contra o plástico e teríamos outra cópia.

**Como escrevemos pequeno?**

A próxima questão é: como escrevemos isso? Não temos nenhuma técnica padrão para fazê-lo agora. Mas deixem-me argumentar que não é tão difícil como pode parecer à primeira vista. Podemos inverter as lentes de um microscópio eletrônico, de forma que ele passe a reduzir tão bem quando amplie. Uma fonte de íons, enviada através das lentes de um microscópio invertido, poderia ser focalizada em um ponto muito pequeno. Poderíamos escrever com esse ponto, como escrevemos com um osciloscópio de raios catódicos de TV, caminhando por linhas, e com um ajuste que determinaria a quantidade de material que seria depositada enquanto corremos sobre as linhas.

Este método pode ser muito lento, por causa das limitações de espaço para carga. Haverá métodos mais rápidos. Poderíamos primeiro fazer, talvez através de algum processo fotográfico, um anteparo com orifícios em forma de letras. Então, dispararíamos um arco elétrico atrás dos buracos e faríamos passar íons metálicos através deles; depois, poderíamos novamente usar nosso sistema de lentes e fazer uma imagem pequena na forma de íons, que depositariam o metal no alfinete.

Uma maneira mais simples poderia ser esta (ainda que eu não esteja certo de que funcionaria): Através de um microscópio óptico invertido, focalizamos luz sobre uma superfície fotoelétrica muito pequena. Então, os elétrons escapam da superfície, a partir do ponto que a luz está iluminando. Esses elétrons são focalizados pelas lentes de um microscópio eletrônico, para chocar-se diretamente contra a superfície do metal. Tal feixe escavará o metal se funcionar por tempo suficiente? Eu não sei. Se não funcionar para uma superfície metálica, pode ser possível encontrar uma superfície com a qual se cubra o alfinete original e tal que, quando os elétrons a bombardeiem, ocorra alguma mudança que possamos reconhecer mais tarde.

Não há problema nesses dispositivos com relação à intensidade - ao contrário do que você está acostumado na ampliação, onde você tem que pegar uns poucos elétrons e espalhá-los sobre um anteparo cada vez maior; é justamente o contrário. A luz que obtemos de uma página é concentrada em uma área muito pequena, e por isso é muito intensa. Os poucos elétrons que vêm da superfície fotoelétrica são reduzidos a uma área bem diminuta, de forma que, novamente, são muito intensos. Não sei por que isso não foi feito antes!

Isso quanto à Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete; mas vamos considerar todos os livros do mundo. A Biblioteca do Congresso [norte-americano] tem aproximadamente 9 milhões de volumes; a

Biblioteca do Museu Britânico tem 5 milhões de volumes; há também 5 milhões de volumes na Biblioteca Nacional na França. Indubitavelmente, há duplicações; portanto, digamos que há cerca de 24 milhões de volumes de interesse no mundo.

O que aconteceria se eu imprimisse tudo isso na escala sobre a qual vimos discutindo? Quanto espaço vai ocupar? Ocuparia, claro, a área de cerca de um milhão de alfinetes, porque, ao invés de haver apenas os 24 volumes da Enciclopédia, haveria 24 milhões de volumes. Um milhão de cabeças de alfinete podem ser postas em um quadrado de mil alfinetes de lado, ou uma área de cerca de 3 jardas quadradas [cerca de 2,5 metros quadrados]. Ou seja, a réplica de sílica com o recobrimento de plástico da espessura de um papel, com a qual fizemos as cópias, com toda essa informação, está em uma área de aproximadamente o tamanho de 35 páginas da Enciclopédia. Isto é cerca de metade da quantidade de páginas que há nesta revista. Toda a informação que toda a humanidade já registrou em livros pode ser transferida para um panfleto em sua mão - e não escrita em código, mas uma simples reprodução das imagens e estampas originais e tudo o mais em uma escala pequena, sem perda de resolução.

O que diria nossa bibliotecária no Caltech, enquanto ela circula pelo acervo, se eu lhe disser que daqui a dez anos toda a informação que ela está lutando para não perder de vista - 120.000 volumes, empilhados do chão até o teto, gavetas cheias de fichas, depósitos cheios de livros antigos - poderá ser armazenado em uma única ficha! Quando a Universidade do Brasil, por exemplo, descobrir que sua biblioteca foi incendiada, podemos enviar-lhes uma cópia de cada livro em nossa biblioteca tirando uma réplica da placa-matriz em umas poucas horas e enviando-a em um envelope não maior nem mais pesado do que qualquer outra carta comum por via aérea.

Agora, o título dessa palestra é "Há muito espaço lá embaixo" - não apenas "Há espaço lá embaixo". O que eu demonstrei é que há espaço - que você pode diminuir o tamanho das coisas de uma maneira prática. Eu agora quero mostrar que há *muito* espaço. Não vou discutir agora como faremos isso, mas somente o que é possível em princípio - em outras palavras, o que é possível de acordo com as leis da física. Não estou inventando a anti-gravidade, que será possível um dia apenas se as leis não sejam as que nós pensamos. Estou dizendo a vocês o que poderíamos fazer se as leis fossem as que pensamos; ainda não o estamos fazendo simplesmente porque ainda não chegamos lá.

## **Informação em escala pequena**

Suponha que, ao invés de tentarmos reproduzir as imagens e toda a informação diretamente em sua forma presente, escrevamos apenas o conteúdo de informação em um código de pontos e traços ou algo do tipo, para representar as várias letras. Cada letra representa seis ou sete "bits" de informação; isto é, você precisa de apenas cerca de seis ou sete pontos ou traços para cada letra. Agora, ao invés de escrever tudo na superfície da cabeça de um alfinete, como fizemos antes, vou usar também o interior do material. Representemos um ponto por uma pequena marca de metal, o próximo traço por uma marca adjacente feita de outro metal, e assim por diante. Suponha, para mantermos os pés no chão, que um bit de informação necessitará de um pequeno cubo de 5 por 5 por 5 átomos - ou seja, 125 átomos. Talvez precisemos de uns cento e poucos átomos para termos certeza de que a informação não foi perdida por difusão ou algum outro processo.

Eu estimei quantas letras existem na Enciclopédia e supus que cada um dos meus 24 milhões de livros é tão grande quanto um de seus volumes, e calculei, então, quantos bits de informação existem ( $10^{15}$ ). Para cada bit, eu deixo 100 átomos. E o resultado é que toda a informação que o homem cuidadosamente acumulou em todos os livros do mundo pode ser escrita desta forma em um cubo de material com um ducentésimo de polegada de largura - que é a menor partícula de poeira que pode ser distinguida pelo olho humano. Assim, há muito espaço lá embaixo! Não me falem de microfilmes!

Este fato - que quantidades enormes de informação podem ser colocadas em um espaço extraordinariamente pequeno - é, evidentemente, bem conhecido dos biólogos, e resolve o mistério que existia antes de compreendermos tudo isso claramente, ou seja, como podia ser que, na mais diminuta célula, toda a informação para a organização de uma criatura complexa como nós mesmos podia estar armazenada. Toda essa informação - se temos olhos castanhos, se raciocinamos, ou que no embrião o osso da mandíbula deveria se desenvolver inicialmente com um pequeno orifício do lado, de forma que mais tarde um nervo poderia crescer através dele - toda essa informação está contida em uma fração minúscula da célula, em forma de uma longa cadeia de moléculas de DNA, na qual aproximadamente 50 átomos são usados para cada bit de informação sobre a célula.

## **Melhores microscópios eletrônicos**

Se eu escrevi em código, usando 5 por 5 por 5 átomos para um bit, a pergunta é: como eu poderia ler isso hoje? O microscópio eletrônico não é bom o suficiente; com o maior cuidado e esforço, ele pode resolver apenas até cerca de 10 angstroms. Eu gostaria de tentar e transmitir a vocês, enquanto estou falando de todas essas coisas em escala pequena, a importância de melhorar o microscópio eletrônico cem vezes. Não é impossível; não está contra as leis da difração do elétron. O comprimento de onda do elétron em um tal microscópio é de apenas 1/20 de um angstrom. Assim, deveria ser possível ver os átomos individuais. Que vantagem haveria em distinguir os átomos individuais? Temos amigos em outros campos - em biologia, por exemplo. Nós, físicos, freqüentemente os vemos e dizemos: "Vocês sabem a razão pela qual seus camaradas estão fazendo tão pouco progresso?" (Na verdade, não conheço nenhum campo onde estão progredindo mais rápido que na biologia hoje.) "Vocês deveriam usar mais matemática, como nós." Eles poderiam responder - mas eles são educados, então eu vou responder por eles: "O que vocês poderiam fazer por nós para progredirmos mais rapidamente é fazer um microscópio eletrônico 100 vezes melhor."

Quais são os problemas mais centrais e fundamentais da biologia hoje? Há perguntas do tipo: qual é a seqüência de bases no DNA? O que acontece quando há uma mutação? Como a ordem das bases no DNA está relacionada com a ordem dos aminoácidos nas proteínas? Qual é a estrutura do RNA; é uma cadeia simples ou dupla, e como a ordem de suas bases está relacionada ao DNA? Qual é a organização dos microssomos? Como as proteínas são sintetizadas? Onde entra o RNA? Como atua? Onde entram as proteínas? Qual o papel dos aminoácidos? Na fotossíntese, onde entra a clorofila; como está disposta; onde estão os carotenóides envolvidos? Qual é o sistema de conversão da luz em energia química?

É fácil responder a muitas dessas questões biológicas fundamentais; você simplesmente olha para a coisa! Você verá a ordem de bases na cadeia; você verá a estrutura do microssomo. Infelizmente, os microscópios atuais vêm em uma escala apenas um pouco tosca demais. Faça-se um microscópio cem vezes mais poderoso e muitos problemas da biologia se tornariam muito mais fáceis. Eu exagero, claro, mas os biólogos estariam certamente muito agradecidos a vocês - e eles prefeririam isso do que a crítica de que deveriam usar mais matemática.

A teoria atual dos processos químicos é baseada na física teórica. Neste sentido, a física provê o fundamento da química. Mas a química também tem análise. Se você tem uma substância estranha e você quer saber o que é, você passa por um longo e complicado processo de análise química. Hoje você pode analisar quase qualquer coisa; então, estou um pouco atrasado com minha idéia. Mas, se os físicos quisessem, eles poderiam também "cutucar" o problema da análise química. Seria muito fácil fazer uma análise de qualquer substância química complexa; tudo o que teria que se fazer seria olhá-la e ver onde os átomos estão. O único problema é que o microscópio eletrônico é cem vezes pobre demais. (Depois, eu gostaria de colocar a questão: poderão os físicos fazer algo a respeito do terceiro problema da química - a síntese? Há algum meio físico para sintetizar uma substância química?)

A razão pela qual o microscópio eletrônico é tão fraco é que o número  $f$  das lentes é apenas de uma parte em 1000; você não tem uma abertura grande o suficiente. E eu sei que há teoremas que provam que é impossível, com lentes de campo estacionário axialmente simétricas, produzir um número  $f$  maior do que isso; e, portanto, o poder de resolução hoje está no seu máximo teórico. Mas em qualquer teorema há suposições. Por que o campo deveria ser simétrico? Eu coloco isso como um desafio: Não há nenhuma maneira de fazer um microscópio eletrônico mais poderoso?

### **O maravilhoso sistema biológico**

O exemplo biológico de escrever informação em uma escala pequena inspirou-me a pensar em algo que pudesse ser possível. A biologia não é simplesmente escrever informação; é fazer algo com ela. Várias das células são muito pequenas, mas podem ser muito ativas; elas fabricam várias substâncias; deslocam-se; vibram; e fazem todos os tipos de coisas maravilhosas - tudo em uma escala muito pequena. Além disso, armazenam informação. Considerem a possibilidade de que nós também possamos construir algo muito pequeno que faça o que queiramos - que possamos fabricar um objeto que manobra naquele nível!

Podem haver inclusive aspectos econômicos com relação a essa atividade de fazer coisas muito pequenas. Deixem-me lembrá-los de alguns problemas dos computadores. Nessas máquinas, temos que armazenar uma enorme quantidade de informação. O tipo de escrita que

eu mencionava antes, na qual eu tinha tudo como uma configuração de metal, é permanente. Muito mais interessante para um computador é uma forma de escrever, apagar e escrever outra coisa. (Isso, em geral porque não queremos desperdiçar o material sobre o qual já escrevemos. Mesmo que pudéssemos escrevê-lo em um espaço muito pequeno, não faria nenhuma diferença; poderia simplesmente ser jogado fora depois que lido. Não custa muito para o material).

### **Miniaturizando o computador**

Eu não sei como fazer isso em uma escala pequena de uma maneira prática, mas eu sei que os computadores são bem grandes; eles preenchem cômodos inteiros. Por que não poderíamos fazê-los muito *pequenos*, fazê-los de pequenos fios, pequenos elementos - e, por pequeno, eu quero dizer pequeno. Por exemplo, os fios deveriam ter 10 ou 100 átomos de diâmetro, e os circuitos deveriam ter uns poucos milhares de angstroms de largura. Todo mundo que já tenha analisado a teoria lógica dos computadores já chegou à conclusão de que as possibilidades dos computadores são muito interessantes - se eles puderem tornar-se mais complexos em várias ordens de grandeza. Se eles tivessem milhões de vezes mais elementos, poderiam fazer julgamentos. Teriam tempo para calcular qual é o melhor caminho para fazer um cálculo que estejam prestes a executar. Selecionariam o método de análise que, de sua experiência, seja melhor do que o que lhes fornecemos. E, de muitas outras formas, eles teriam muitos aspectos qualitativos novos. Se eu olho para a sua face, eu reconheço imediatamente o que eu havia visto antes. (Na verdade, meus amigos diriam que eu escolhi um exemplo ruim como ilustração. Pelo menos, eu reconheço que é um homem e não uma maçã.) Mas não há nenhuma máquina que, com essa velocidade, possa pegar a imagem de uma face e dizer nem mesmo que é um homem; e muito menos que é o mesmo homem que você mostrou antes - a menos que seja exatamente a mesma imagem. Se a face é alterada; se estou mais perto da face; se estou mais longe; se muda a luz - eu reconheço-a.

Agora, este pequeno computador que eu carrego em minha cabeça é facilmente capaz de fazer isso. Já os computadores que construímos não são. O número de elementos nesta minha caixa óssea é enormemente maior do que o número de elementos em nossos computadores "maravilhosos". Mas nossos computadores mecânicos são



muito grandes; os elementos nesta caixa são microscópicos. Eu quero fazer alguns *submicroscópicos*.

Se quiséssemos fazer um computador que tivesse todas essas maravilhosas habilidades qualitativas extras, teríamos que fazê-lo, talvez, do tamanho do Pentágono. Isso tem várias desvantagens. Primeiro, precisa de muito material; pode não haver germânio suficiente no mundo para todos os transístores que teriam que ser colocados nessa coisa enorme. Há também o problema da geração de calor e consumo de potência; seria necessário TVA para fazer o computador funcionar. Mais uma dificuldade ainda mais prática é que o computador seria limitado a uma certa velocidade. Por causa de seu grande tamanho, é requerido um tempo finito para levar a informação de um lugar a outro. A informação não pode viajar mais rápido do que a velocidade da luz - assim, em última análise, à medida que nossos computadores tornam-se mais e mais rápidos e mais e mais elaborados, teremos que fazê-los menores e menores.

Mas há muito espaço para fazê-los menores. Não há nada que eu possa ver nas leis físicas que diga que os elementos dos computadores não possam ser feitos enormemente menores que são atualmente. Na verdade, pode haver certas vantagens.

### **Miniaturização e evaporação**

Como faríamos um equipamento assim? Que tipo de processo de fabricação usaríamos? Uma possibilidade que poderíamos considerar, desde que conversamos sobre escrever e colocar átomos em uma certa disposição, seria vaporizar o material, e então vaporizar o isolante ao seu lado. Então, para a próxima camada, vaporizar outro fio em outra posição, outro isolante, e assim por diante. Assim, você simplesmente vaporiza até que você tenha um bloco que contenha os elementos - bobinas e condensadores, transístores, etc. - com dimensões extraordinariamente minúsculas.

Mas eu gostaria de discutir, só para nos divertirmos, que existem ainda outras possibilidades. Por que não podemos fabricar esses pequenos computadores da mesma forma que fabricamos os grandes? Por que não podemos furar buracos, cortar, soldar ou estampar coisas, modelar diferentes formas, tudo em um nível infinitesimal? Quais as limitações em relação a quão pequeno algo tem de ser antes que você não consiga mais modelá-la? Quantas vezes, quando você está trabalhando em algo tão frustrantemente minúsculo como o relógio de

pulso de sua esposa, você disse a si mesmo: "Ah! se eu pudesse treinar uma formiga para fazer isso!" O que eu gostaria de sugerir é a possibilidade de treinar uma formiga para treinar um ácaro para fazer isso. Quais as possibilidades para máquinas diminutas, porém móveis? Elas podem ou não ser úteis, mas certamente seria muito divertido fazê-las.

Considerem qualquer máquina - por exemplo, um automóvel - e perguntem-se sobre os problemas de se replicar uma tal máquina em escala infinitesimal. Suponham, no *design* particular de um automóvel, que nós precisemos de uma certa precisão em relação aos componentes; precisamos de uma exatidão de, digamos,  $4/10.000$  de polegada. Se as coisas forem mais imprecisas do que isso na forma de um cilindro ou outras formas, não vai funcionar muito bem. Se eu faço muito pequeno, eu tenho de me preocupar com o tamanho dos átomos; não posso fazer um círculo de "bolas", por assim dizer, se o círculo é muito pequeno. Assim, se eu cometer um erro correspondente a  $4/10.000$  de polegada, que corresponderá a um erro de 10 átomos, resulta que eu posso reduzir as dimensões de um automóvel em aproximadamente 4.000 vezes - de forma que ele fica com um milímetro de comprimento. Obviamente, se você redesenha o carro de modo que ele funcione dentro de uma faixa de tolerância muito maior, o que não é de todo impossível, você poderia obter um equipamento muito menor.

É interessante considerar quais seriam os problemas em máquinas tão pequenas. Primeiramente, em componentes tensionadas no mesmo grau, as forças crescem como a área que você está reduzindo, de forma que coisas como peso ou inércia são relativamente sem importância. A resistência do material, em outras palavras, é proporcionalmente muito maior. As tensões e a expansão do volante do motor sob as forças centrífugas, por exemplo, estariam na mesma proporção apenas se a velocidade de rotação aumentasse na mesma proporção em que diminuíssemos o tamanho. Por outro lado, os metais que usamos têm uma estrutura granular, e isso causaria muitos aborrecimentos em uma escala pequena, já que o material não é homogêneo. Plásticos, vidros e coisas de natureza amorfa semelhante são muito mais homogêneos e, assim, teríamos de fazer nossas máquinas a partir de tais materiais.

Há problemas associados com as partes elétricas do sistema - com os fios de cobre e os componentes magnéticos. As propriedades magnéticas, em uma escala muito pequena, não são as mesmas que em uma escala maior; há o problema do "domínio" envolvido. Um grande

magneto feito de milhões de domínios pode ser reproduzido em escala pequena com até um único domínio, apenas. O equipamento elétrico não será só redimensionado; terá de ser redesenhado. Mas eu não vejo razão por que ele não possa ser redesenhado de forma a poder funcionar novamente.

### **Problemas de lubrificação**

A lubrificação envolve algumas questões interessantes. A viscosidade efetiva do óleo seria cada vez mais alta à medida que diminuíssemos a escala (e se aumentamos a velocidade tanto quanto possamos). Se não aumentamos tanto a velocidade, e substituímos o óleo por querosene ou outro fluido, o problema não parece tão ruim. Mas, na verdade, nós talvez não tenhamos de lubrificá-lo! Temos muita força extra. Deixemos os mancais secos; eles não se aquecerão, porque o calor escapa de dispositivos tão pequenos muito, muito rapidamente.

Esta perda rápida de calor impediria que a gasolina explodisse; assim, seria impossível utilizarmos um motor de combustão interna. Outras reações químicas, que liberem energia a frio, poderiam ser usadas. Provavelmente, uma fonte externa de eletricidade seria mais conveniente para máquinas tão pequenas.

Qual seria a utilidade de tais máquinas? Quem sabe? Naturalmente, um pequeno automóvel seria útil apenas para os ácaros passearem, e eu suponho que nossas inclinações de bom samaritano não cheguem a tanto. Entretanto, nós enfatizamos a possibilidade da fabricação de pequenos elementos para computadores em fábricas totalmente automatizadas, contendo tornos e outras ferramentas em escala muito pequena. O pequeno torno não precisaria ser exatamente como o nosso grande torno. Deixo para sua imaginação os aperfeiçoamentos do *design* que possam ser mais vantajosos para as propriedades de objetos em pequena escala, e de forma que fique mais fácil dar conta da necessidade de automatização.

Um amigo meu (Albert R. Hibbs) sugere uma possibilidade muito interessante para máquinas relativamente pequenas. Ele diz que, embora seja uma idéia bastante selvagem, seria interessante se, numa cirurgia, você pudesse engolir o cirurgião. Você coloca o cirurgião mecânico dentro da veia, e ele vai até o coração e "dá uma olhada" em torno. (Naturalmente, a informação tem que ser transmitida para fora.) Ele descobre qual é a válvula defeituosa, saca uma pequena faca e corta-a fora. Outras máquinas pequenas poderiam ser permanentemente incorporadas ao organismo para assistir algum órgão deficiente.

Agora vem a questão interessante: como fazemos um mecanismo tão pequeno? Deixo isso para vocês. Entretanto, deixem-me sugerir uma possibilidade estranha. Você sabe, nas usinas atômicas eles têm materiais e máquinas que não podem ser manuseadas diretamente, porque tornaram-se radioativos. Para desparafusar porcas, colocar parafusos, etc., eles têm um conjunto de mãos mestres e servas, de forma que, operando um conjunto de alavancas aqui, você controla as "mãos" lá, pode virá-las para lá e para cá, e assim você pode manusear as coisas confortavelmente.

Grande parte desses dispositivos são, na verdade, feitos de modo bastante simples, no sentido de que há um cabo específico, como um cordão de marionete, que vai diretamente dos controles até as "mãos". Mas, é claro, eles também fizeram isso usando servomotores, de forma que a conexão entre uma coisa e outra fosse mais elétrica que mecânica. Quando você manuseia as alavancas, elas acionam um servomotor, o que altera as correntes elétricas nos fios, que reposicionam um motor na outra extremidade.

Agora, eu quero fazer reproduzir o mesmo dispositivo - um sistema servo-mestre que opera eletricamente. Mas eu quero que os servos sejam feitos de forma particularmente cuidadosa por operadores modernos em escala grande, de forma que eles tenham um quarto do tamanho das "mãos" que você normalmente manobra. Assim, você tem um esquema com o qual você pode produzir coisas numa escala reduzida em quatro vezes - os pequenos servomotores com pequenas mãos operam com pequenas porcas e parafusos; fazem pequenos buracos; eles são quatro vezes menores. Ahá! Assim, eu produzo um torno quatro vezes menor; ferramentas quatro vezes menores; e produzo, em escala quatro vezes menor, ainda outro conjunto de mãos, por sua vez mais quatro vezes menores. Isso dá um dezesseis avos do tamanho, do meu ponto de vista. Depois de acabar isso, eu passo diretamente do meu sistema em escala grande, talvez usando transformadores, para os servomotores 16 vezes menores. Logo, eu posso manipular as mãos 16 vezes menores.

Bem, a partir disso, vocês têm os princípios. É um programa um tanto difícil, mas é uma possibilidade. Você poderia dizer que pode-se ir mais longe em um único estágio do que por etapas. Naturalmente, tudo isso deve ser desenhado de forma muito cuidadosa, e não é necessário fazê-lo apenas como mãos. Se você pensar sobre isso com cuidado, você provavelmente chegaria em um sistema muito melhor.

Se você trabalhar com um pantógrafo, mesmo hoje, você pode conseguir um fator muito melhor do que quatro em um único passo. Mas você não pode trabalhar diretamente com um pantógrafo que faz um pantógrafo menor, que então faz um pantógrafo ainda menor - por causa da imprecisão dos buracos e irregularidades da construção. A extremidade do pantógrafo oscila de forma relativamente mais irregular do que o movimento de suas mãos. Diminuindo essa escala, eu veria a extremidade do pantógrafo na extremidade do pantógrafo na extremidade do pantógrafo sacudindo tanto que não estaria fazendo nada de aproveitável.

Em cada etapa, é necessário aumentar a precisão do equipamento. Se, por exemplo, tendo feito um pequeno torno com um pantógrafo, constatarmos que seu parafuso está irregular - mais irregular do que o na escala grande - poderíamos pegar o parafuso e uma porca e lapidá-los um contra o outro, virando para a frente e para trás da maneira usual, até que o parafuso esteja, em sua escala, tão preciso quanto nossos parafusos originais na nossa escala.

Podemos fazer superfícies planas esfregando superfícies não-planas três a três, e as superfícies se tornariam mais planas que a original. Assim, não é impossível melhorar a precisão em escala pequena usando as operações adequadas. Desta forma, quando construímos esses dispositivos, é necessário, em cada passo, aumentar a precisão do equipamento, trabalhando por algum tempo em escala pequena, produzindo parafusos precisos, blocos de Johansen e todos os demais materiais que usamos em trabalhos de precisão no nível grande. Temos que parar em cada nível e fabricar todas as peças para chegar ao próximo nível - um programa muito longo e difícil. Talvez você possa imaginar uma maneira melhor para chegar mais depressa à escala pequena.

Ainda assim, depois de tudo isso, você apenas obteve um pequeno torno-bebê quatro mil vezes menor do que o normal. Mas estávamos pensando em fazer um computador enorme, que construiríamos fazendo buracos com esse torno, para fazer pequenas arruelas para o computador. Quantas arruelas você poderia fabricar com esse único torno?

### **Mil pequenas mãos**

Quando eu faço meu primeiro conjunto de "mãos" servas na escala quatro vezes menor, vou fazer dez conjuntos. Faço dez conjuntos

de "mãos" e eu as conecto às minhas alavancas originais, de forma que cada uma delas faça exatamente a mesma coisa ao mesmo tempo e em paralelo. Agora, quando estou fazendo meus novos dispositivos novamente quatro vezes menores, deixo cada um deles produzir dez cópias, e assim terei cem "mãos" em uma escala de 1/16. Onde colocarei o milhão de tornos que terei? Por que, não tem nada de mais; o volume é muito menor do que o de um único torno em escala normal. Por exemplo, se eu fiz um bilhão de pequenos tornos, cada um deles em uma escala de 1/4.000 do torno normal, haverá considerável quantidade de materiais e espaço disponíveis, porque, no bilhão de pequenos tornos, há menos do que 2 por cento do material usados no grande.

Não custa nada em termos de materiais, vocês podem ver. Assim, quero construir um bilhão de pequenas fábricas, modelos umas das outras, que estão simultaneamente produzindo, fazendo buracos, juntando componentes, etc.

À medida que diminuimos o tamanho, há um número de problemas interessantes que vão surgindo. As coisas não reduzem a escala simplesmente de forma proporcional. Há o problema de que os materiais unem-se pelas atrações intermoleculares (van der Waals).

Seria algo como isso: depois que você fabrica um componente e desparafusa uma porca, ele não cairá, porque a gravidade não é apreciável; seria mesmo mais difícil tirá-lo do parafuso. Seria como aqueles velhos filmes com um homem tentando se livrar de um copo d'água com mãos cheias de melação. Haverá vários problemas dessa natureza com os quais deveremos estar prontos para lidar.

## **Rearranjando os átomos**

Mas não tenho medo de considerar a questão final em relação a se, em última análise - no futuro longínquo -, poderemos arranjar os átomos da maneira que queremos; os próprios átomos, no último nível de miniaturização! O que aconteceria se pudéssemos dispor os átomos um por um da forma como desejamos (dentro do razoável, é claro; você não pode dispô-los de forma que, por exemplo, sejam quimicamente instáveis).

Até agora, nós nos contentamos em escavar o chão para encontrar minerais. Nós os aquecemos e fazemos coisas com eles em escala grande, e esperamos obter uma substância pura a partir de tanta impureza, e assim por diante. Mas temos sempre de aceitar alguns arranjos atômicos que a natureza nos dá. Não temos nada como,

digamos, um arranjo do tipo "tabuleiro de damas", com os átomos de impureza dispostos exatamente 1.000 angstroms uns dos outros, ou em algum outro padrão específico.

O que poderíamos fazer com estruturas em camadas se tivéssemos exatamente as camadas corretas? Quais seriam as propriedades dos materiais se pudéssemos realmente arranjar os átomos como bem entendêssemos? Elas seriam muito interessantes de se investigar teoricamente. Não posso ver exatamente o que aconteceria, mas dificilmente posso duvidar que, quando tivermos algum controle sobre a disposição das coisas na escala pequena, teremos um leque enormemente maior de propriedades possíveis para as substâncias, e de diferentes coisas que poderíamos fazer.

Considere, por exemplo, um pedaço de material no qual fazemos pequenas bobinas e condensadores (ou seus análogos do estado sólido) de 1.000 ou 10.000 angstroms em um circuito, um exatamente ao lado do outro, sobre uma área extensa, com pequenas antenas espetadas na outra extremidade - toda uma série de circuitos. É possível, por exemplo, emitir luz de todo um conjunto de antenas, como emitimos ondas de rádio de um conjunto organizado de antenas para transmitir programas para a Europa? O mesmo aconteceria para transmitir luz de intensidade muito alta em uma direção definida. (Talvez tal transmissão não seja muito útil técnica ou economicamente).

Tenho pensado sobre alguns dos problemas relativos à construção de circuitos elétricos em escala pequena, e o problema da resistência é sério. Se você faz um circuito correspondente em escala pequena, sua frequência natural aumenta, uma vez que o comprimento de onda diminui com a escala; mas a profundidade de penetração do campo eletromagnético decresce só com a raiz quadrada da escala e, assim, os problemas de resistência apresentam dificuldade crescente. Possivelmente, podemos dar conta da resistência usando a supercondutividade, se a frequência não é demasiadamente alta, ou por outros artifícios.

### **Átomos no mundo pequeno**

Quando vamos ao mundo muito, muito pequeno - digamos, circuitos de sete átomos -, acontecem uma série de coisas novas que significam oportunidades completamente novas para *design*. Átomos na escala pequena não se comportam como nada na escala grande, pois eles seguem as leis da mecânica quântica. Assim, à medida em que descemos

de escala e brincamos com os átomos, estaremos trabalhando com leis diferentes, e poderemos esperar fazer coisas diferentes. Podemos produzir de formas diferentes. Podemos usar não apenas circuitos, mas algum sistema envolvendo os níveis quantizados de energia, ou as interações entre spins quantizados, etc.

Outra coisa que constataremos é que, se formos longe o bastante, todos os nossos dispositivos poderão ser produzidos em massa, de forma que serão réplicas absolutamente perfeitas uns dos outros. Não podemos fazer duas máquinas grandes de forma a que as dimensões sejam exatamente as mesmas. Mas, se a sua máquina tem apenas 100 átomos de altura, você tem de torná-la precisa em apenas meio por cento para ter certeza de que a outra máquina tenha exatamente o mesmo tamanho - ou seja, 100 átomos de altura!

No nível atômico, temos novos tipos de forças e novos tipos de possibilidades, novos tipos de efeitos. Os problemas de fabricação e reprodução de materiais serão bem diferentes. Minha inspiração, como eu disse, vem de fenômenos biológicos, nos quais as forças químicas são usadas de uma forma repetitiva para produzir todo tipo de efeitos estranhos (um dos quais é este autor).

Os princípios da física, tanto quanto podemos perceber, não implicam na impossibilidade de manipular coisas átomo por átomo. Não se trata de uma tentativa de violar quaisquer leis; é algo que, em princípio, pode ser feito, mas, na prática, ainda não o foi, porque nós somos grandes demais.

Em última análise, podemos fazer sínteses químicas. Um químico vem e nos diz: "Olhe, eu quero uma molécula que tenha os átomos dispostos assim e assim; faça-me essa molécula."

O químico faz uma coisa misteriosa quando ele quer obter uma molécula. Ele vê que ela tem tal forma; então ele mistura isso e aquilo, chacoalha e brinca um pouco com aquilo. E, no final de um processo difícil, em geral ele obtém sucesso em sintetizar o que quer. Na altura em que eu conseguir meus dispositivos funcionando, de modo a podermos fazer isso com a física, ele terá descoberto como sintetizar absolutamente qualquer coisa, de forma que isso será completamente inútil.

Mas é interessante que seria possível, em princípio (eu acho), para um físico, sintetizar qualquer substância química que o químico escreva. Dê as ordens e o físico sintetiza. Como? Coloque os átomos ali onde o químico diz; assim, você faz a substância. Os problemas de química e biologia poderão ser bastante reduzidos se nossa habilidade de ver o que



estamos fazendo, e de fazer as coisas em nível atômico, for finalmente desenvolvida - um avanço que, penso, não pode ser evitado.

Agora, você pode dizer: "Quem deveria fazer isso e por que deveriam fazê-lo?" Bem, eu mostrei algumas das aplicações econômicas, mas eu sei que a razão pela qual você o faria seria por pura diversão. Mas divirta-se! Vamos fazer uma competição entre laboratórios. Um laboratório faz um pequeno motor, que manda para um outro laboratório, que manda-o de volta com uma coisa que se encaixa no eixo do primeiro motor.

### **Competição escolar**

Apenas por diversão, e para provocar interesse por esse campo nas crianças, eu proporia que alguém que tenha algum contato com escolas de ensino médio pensasse em fazer algum tipo de competição escolar. Afinal, nós ainda nem começamos nesse campo, e até mesmo as crianças podem escrever menor do que jamais foi escrito antes. Elas poderiam fazer concursos nas escolas. A escola de Los Angeles poderia enviar um alfinete para uma escola de Veneza, onde estaria escrito: "Como vão as coisas?" Eles recebem de volta o alfinete e, no pingão do "i" está escrito: "Não muito quente".

Talvez isso não o motive a fazer isso, e apenas a economia poderia fazê-lo. Então, eu gostaria de fazer alguma coisa; mas eu não posso fazê-la agora, pois ainda não preparei o terreno. Pretendo então oferecer um prêmio de US\$ 1.000 para a primeira pessoa que possa pegar a informação na página de um livro e colocá-la em uma área 25.000 vezes menor, em escala linear, de tal forma que ela possa ser lida com um microscópio eletrônico.

E eu gostaria de oferecer um outro prêmio - se eu puder encontrar um jeito de enunciar isso de forma a não me meter em uma confusão de discussões sobre definições - de outros US\$ 1.000 para a primeira pessoa que fizer um motor elétrico funcional - um motor elétrico rotativo que possa ser controlado de fora e, sem contar os cabos de entrada, tenha 1/64 de polegada cúbica.

Eu não acho que esses prêmios tenham que esperar muito para os candidatos aparecerem.

*Nota do editor da Journal of Microelectromechanical Systems: O prêmio acima foi apresentado pelo dr. Feynman em 28 de novembro*

*de 1960 para William McLellan, que construiu um motor elétrico com o tamanho de um grão de poeira. O outro prêmio ainda está em aberto.*

***Texto traduzido por Roberto Belisário e Elizabeth Gigliotti de Sousa***

## 5. Carta aos alunos

PREFEITURA MUNICIPAL DE \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de 2009.

Prezados Alunos

Nos últimos dez anos, intensificou-se uma revolução científica e tecnológica de enorme abrangência e impacto: a *Nanociência e a Nanotecnologia*. Termos que fazem referência ao estudo de novas propriedades e ao desenvolvimento de aplicações tecnológicas de objetos e dispositivos que tenham ao menos uma de suas dimensões físicas menor que – ou da ordem de – algumas dezenas de **nanômetros**.

A principal idéia da Nanociência foi proposta pela primeira vez em 1959 por *Richard Feynman*, que chamava a atenção para o fato de que, na **dimensão atômica**, se está trabalhando com *leis diferentes* e, assim, devem ser esperados **novos efeitos e novas possibilidades**. De lá para cá, principalmente com a criação do *Microscópio de Tunelamento*, o processo de miniaturização avançou muito, sendo impossível não se impressionar pelos rumos que podem tomar, desde a invenção de novos materiais, passando pela construção de nanorrobôs, até a criação de organismos **atomicamente modificados**.

Se de um lado, alguns entusiastas criaram uma quase-religião baseada na crença de que a *Nanotecnologia* gerará riqueza e longevidade infinitas para os seres humanos, do outro, os alarmistas temem que, de algum modo, a Nanotecnologia irá por fim à vida como a conhecemos, envenenando o meio ambiente ou liberando algum tipo de nanorrobô **autorreprodutivo** que domine a Terra.

Concomitante a essa situação, entre os problemas que têm provocado muita preocupação em grande parte da sociedade, está a contaminação da água de rios, lagos e mares e a falta de água potável. Se conseguíssemos reciclar, filtrar e ainda purificar a água de qualquer fonte para qualquer uso, poderíamos poupar enormes quantidades e permitir um melhor aproveitamento dos recursos hídricos.

Estuda-se a possibilidade da utilização de *nanopartículas* para filtrar e reaproveitar águas impuras e despoluir a água de rios e lagos contaminados. Existe um projeto na câmara dos vereadores da cidade de \_\_\_\_\_ que visa a utilizar a nanotecnologia para despoluir a água do Rio \_\_\_\_\_.

Essa turma foi escolhida para fazer uma análise da viabilidade da utilização desta.

Essa análise deve ser entregue em forma de relatório até o dia \_\_\_\_\_ do corrente ano.

Desde já, agradecemos pela atenção e presteza e desejamos um excelente e proveitoso trabalho para todos!

Aguardamos o relatório dentro do prazo estabelecido.

## 6. Sugestões de Questões para a Prova

1 – Atualmente o óleo de cozinha tem sido apontado com um dos maiores poluidores das águas de rios, lagos e mares. Aponte alguns cuidados e iniciativas que podemos tomar para alterarmos esta situação e evitar que uma quantidade ainda maior de água seja poluída.

2 – (ENEM) Ao utilizarmos um copo descartável não nos damos conta do longo caminho pelo qual passam os átomos ali existentes, antes e após esse uso. O processo se inicia com a extração do petróleo, que é levado às refinarias para separação de seus componentes. A partir da matéria-prima fornecida pela indústria petroquímica, a indústria química produz o polímero à base de estireno, que é moldado na forma de copo descartável ou de outros objetos, tais como utensílios domésticos. Depois de utilizados, os copos são descartados e jogados no lixo para serem reciclados ou depositados em aterros. Materiais descartáveis, quando não reciclados, são muitas vezes rejeitados e depositados indiscriminadamente em ambientes naturais. Em consequência, esses materiais são mantidos na natureza por longo período de tempo. No caso de copos plásticos constituídos de polímeros à base de produtos petrolíferos, o ciclo de existência deste material passa por vários processos que envolvem:

(A) a decomposição biológica, que ocorre em aterros sanitários, por micro-organismos que consomem plásticos com estas características apolares.

(B) a polimerização, que é um processo artificial inventado pelo homem, com a geração de novos compostos resistentes e com maiores massas moleculares.

(C) a decomposição química, devido à quebra de ligações das cadeias poliméricas, o que leva à geração de compostos tóxicos ocasionando problemas ambientais.

(D) a polimerização, que produz compostos de propriedades e características bem definidas, com geração de materiais com ampla distribuição de massa molecular.

(E) a decomposição, que é considerada uma reação química porque corresponde à união de pequenas moléculas, denominados monômeros, para a formação de oligômeros.

3 – (ENEM) A nanotecnologia está ligada à manipulação da matéria em escala nanométrica, ou seja, uma escala tão pequena quanto a de um

bilionésimo do metro. Quando aplicada às ciências da vida, recebe o nome de nanobiotecnologia. No fantástico mundo da nanobiotecnologia, será possível a invenção de dispositivos ultrapequenos que, usando conhecimentos da biologia e da engenharia, permitirão examinar, manipular ou imitar os sistemas biológicos.

LACAVA, Z.; MORAIS, P. Nanobiotecnologia e saúde. *Com Ciência*. Reportagens. Nanociência & Nanotecnologia.

Disponível em:

<<http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano15.htm>>.

Acesso em: 4 maio 2009.

Como exemplo da utilização dessa tecnologia na Medicina, pode-se citar a utilização de

nanopartículas magnéticas (nanoimãs) em terapias contra o câncer. Considerando-se que o campo magnético não age diretamente sobre os tecidos, o uso dessa tecnologia em relação às terapias convencionais é **(A)** de eficácia duvidosa, já que não é possível manipular nanopartículas para serem usadas na medicina com a tecnologia atual.

**(B)** vantajoso, uma vez que o campo magnético gerado por essas partículas apresenta

propriedades terapêuticas associadas ao desaparecimento do câncer.

**(C)** desvantajoso, devido à radioatividade gerada pela movimentação de partículas magnéticas, o que, em organismos vivos, poderia causar o aparecimento de tumores.

**(D)** desvantajoso, porque o magnetismo está associado ao aparecimento de alguns tipos de câncer no organismo feminino como, por exemplo, o câncer de mama e o de colo de útero.

**(E)** vantajoso, pois se os nanoimãs forem ligados a drogas quimioterápicas, permitem que estas sejam fixadas diretamente em um tumor por meio de um campo magnético externo, diminuindo-se a chance de que áreas saudáveis sejam afetadas.

4 – (UFSC) A Física moderna é o estudo da Física desenvolvido no final do século XIX e início do século XX. Em particular, é o estudo da Mecânica Quântica e da Teoria da Relatividade Restrita. Assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)** em relação às contribuições da Física moderna.

01. Demonstra limitações da Física Newtoniana na escala microscópica.

02. Nega totalmente as aplicações das leis de Newton.

04. Explica o efeito fotoelétrico e o *laser*.

08. Afirma que as leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais.

16. Comprova que a velocidade da luz é diferente para quaisquer observadores em referenciais inerciais.

32. Demonstra que a massa de um corpo independe de sua velocidade.

5 – Quando podemos afirmar que estamos trabalhando com a nanotecnologia? Quais são as mudanças nas propriedades que determinam quando temos um produto que realmente tenha propriedades relacionadas diretamente com a nanociência?

6 – Explique as principais diferenças entre os dois métodos de obtenção das nanopartículas. Cite, no mínimo, dois exemplos para cada método.

7 – Explique por que a Nanociência e Nanotecnologia estão sendo apontadas, por alguns pesquisadores, como a última revolução tecnológica.

8 – Descreva sobre a importância do desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia. Faça um relato sobre as possíveis vantagens e desvantagens deste desenvolvimento.

9 - Qual a sua visão sobre a Nanociência e a Nanotecnologia e quais os desafios desta área?

**10 - (UFRN RN)** No final do século XIX, vários pesquisadores perceberam que a luz era capaz de ejetar elétrons quando incidia em superfícies metálicas. Esse fenômeno, que ocorre sob certas condições, foi chamado de efeito fotoelétrico.

A Figura 1a mostra luz policromática de intensidade  $I_0$ , cujos fótons possuem energia entre 2,0eV e 6,0eV incidindo sobre uma superfície metálica. Observa-se que, dessa superfície, são ejetados elétrons com energia cinética máxima,  $E_{c_{max}}$ . A Figura 1b mostra, também, luz policromática de intensidade  $2I_0$ , cujos fótons possuem energia entre 2,0eV e 6,0eV incidindo sobre a mesma superfície metálica. Observa-se, ainda, que também são ejetados elétrons com energia cinética máxima,  $E_{c_{max}}$ .

A Figura 2a, por sua vez, mostra luz monocromática de intensidade  $I_0$ , cujos fótons possuem energia de 3,0 eV incidindo sobre a mesma

superfície metálica. Nesse caso, não se observam elétrons ejetados da superfície. Por outro lado, a Figura 2b mostra luz monocromática de intensidade  $I_0$ , cujos fótons possuem energia de 6,0 eV incidindo sobre a mesma superfície metálica. Nesse caso, observam-se elétrons sendo ejetados da superfície.

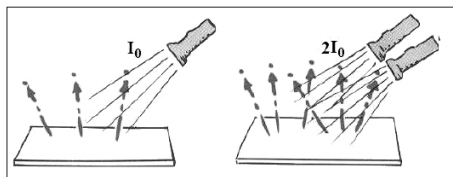


Figura 1a

Figura 1b

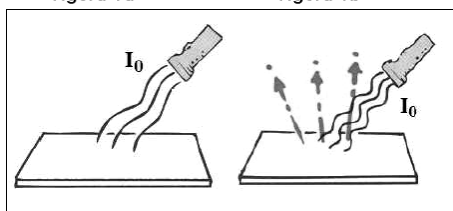


Figura 2a

Figura 2b

Com base na teoria de Einstein para o efeito fotoelétrico,

- explique por que a energia cinética máxima dos elétrons,  $E_{c_{\max}}$ , independe da intensidade da luz policromática incidente;
- explique por que, para essa superfície metálica, o efeito fotoelétrico ocorre apenas quando incide luz cujos fótons possuem energia de 6,0 eV.

11 - (UFOP MG) Leia as afirmativas a seguir:

- A energia de uma onda eletromagnética é proporcional à sua frequência.
- O comprimento de uma onda eletromagnética é proporcional à sua frequência.
- A quantidade de movimento de um fóton de uma onda eletromagnética é inversamente proporcional ao seu comprimento de onda.

Assinale a opção correta:



- a) Somente a afirmativa I é verdadeira.
- b) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
- d) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.

**12 - (UFMT MT)** Em relação aos conceitos da Física Moderna, marque V para as afirmativas verdadeiras e F para as falsas.

- ( ) A energia cinética de um elétron emitido pelo efeito fotoelétrico é proporcional à amplitude da onda eletromagnética que incide sobre a placa.
- ( ) A radioatividade é um fenômeno que ocorre na eletrosfera de átomos instáveis.
- ( ) A luz apresenta propriedades de grandezas descontínuas assim como de grandezas contínuas.
- ( ) A massa de um elétron é constante, seja medida em relação ao núcleo de um átomo ou a um sistema de referência em que o elétron esteja em repouso.
- ( ) Existem partículas com cargas elétricas fracionárias em relação à carga elétrica do elétron.

Assinale a sequência correta.

- a) F, V, V, F, V
- b) V, V, V, F, F
- c) V, F, F, V, F
- d) F, F, V, F, F
- e) F, F, V, F, V

**13 - (UFG GO)** Na célula vegetal fotossintetizante existem dois tipos de fotossistemas que são ativados por diferentes bandas da luz visível, um deles, PSI, é ativado com luz de 700nm, o outro, PSII, é ativado com luz de 680nm. Sabe-se que a reação que produz oxigênio está associada ao PSII. Considerando o exposto, conclui-se que o nome dessa reação e a energia (em Joules) associada ao fóton de luz que é absorvido são, respectivamente,

- a) descarboxilação oxidativa,  $2,9 \times 10^{-19}$
- b) fotólise da água,  $2,9 \times 10^{-19}$
- c) fotofosforilação cíclica,  $2,8 \times 10^{-19}$
- d) fotólise da água,  $2,8 \times 10^{-19}$

e) descarboxilação oxidativa,  $2,8 \times 10^{-19}$

Dados:

Constante de Planck  $h = 6,6 \times 10^{-34}$  J.s

Velocidade da luz no vácuo  $c = 3 \times 10^8$  m/s

$E=hf$ , em que  $f$  é frequência da luz

14 - Os dois componentes atmosféricos de maior importância na manutenção da temperatura na superfície da Terra são o dióxido de carbono e a água. O dióxido de carbono e a água absorvem determinados comprimentos de onda de radiação na região do infravermelho, impedindo que essa energia escape do nosso planeta. O problema é que a concentração de  $\text{CO}_2$  atmosférico tem crescido mais de 15% desde o final da década de 50. Medições realizadas durante várias décadas mostram que a quantidade de  $\text{CO}_2$  atmosférico tem aumentado uniformemente. A partir dessas informações, marque a alternativa CORRETA:

- O aquecimento global tem uma relação direta com a quantidade de energia que entra no nosso planeta. Assim, uma solução para amenizar a temperatura seria criar enormes espelhos refratores na superfície terrestre.
- O dióxido de carbono é um gás incolor e inodoro, sendo um gás majoritário da atmosfera terrestre, o qual é responsável pelo chamado efeito estufa; o  $\text{CO}_2$  é uma molécula polar com ligações apolares.
- O dióxido de carbono é moderadamente solúvel em água na pressão atmosférica. As soluções resultantes são moderadamente ácidas devido à formação do ácido carbônico.
- A radiação infravermelha é muito perigosa porque ela viaja com a mesma velocidade da luz, aproximadamente 300.000 km/s.

15 - (UFU MG) Sobre a emissão de fotoelétrons por uma superfície metálica iluminada por um feixe de luz, pode-se afirmar que

- aumentando a frequência da luz incidente, a energia do elétron emitido diminui.
- qualquer fóton pode retirar elétron dessa superfície metálica.

- c) aumentar o número de fótons incidentes implica em aumento da energia do elétron emitido.
- d) a energia do elétron emitido é menor do que a energia do fóton incidente.

16 - Assinale a(s) alternativa(s) que indica(m) característica(s) que difere(m) a luz verde da luz vermelha.

- 01. Comprimento de onda.
- 02. Velocidade da onda no vácuo.
- 04. Deslocamento da fonte.
- 08. Energia, uma vez que a luz verde tem maior frequência que a luz vermelha.
- 16. Energia, uma vez que a luz vermelha tem maior frequência que a luz verde.

**17 – (UFRN RN)** No início do século XX, foram propostos dois modelos atômicos da matéria, segundo os quais o átomo era constituído de um pequeno núcleo formado por cargas positivas e, em torno desse núcleo, orbitavam os elétrons.

O modelo de Rutherford (1911) baseava-se em experimentos de espalhamento de partículas alfa desviadas pelos núcleos atômicos, enquanto o modelo de Bohr (1913), que procurava superar as limitações do modelo anterior, explicava o espectro de linhas de emissão do átomo de hidrogênio supondo que os elétrons podiam realizar transições entre as órbitas eletrônicas.

Em relação a um dos modelos acima citados, pode-se afirmar também:

- a) O modelo de Bohr explicava a estabilidade das órbitas eletrônicas do átomo a partir da quantização do momento angular.
- b) O modelo de Bohr mostrava a instabilidade das órbitas eletrônicas do átomo a partir dos experimentos de espalhamento de partículas alfa.
- c) O modelo de Rutherford explicava a instabilidade das órbitas eletrônicas do átomo a partir da quantização da energia.
- d) O modelo de Rutherford mostrava a estabilidade das órbitas eletrônicas do átomo a partir de experimentos de espalhamento de partículas alfa.

**18 - (UEMS)** Utilizando a idéia de quantização de energia (fótons) proposta por Planck, Bohr propôs que os elétrons de um átomo ocupam certos níveis estáveis de energia. Nesses níveis de energia, os elétrons não emitem radiação e, portanto, não perdem energia. Um elétron só passa de um nível de energia mais baixo ( $E_i$ ) para um nível superior ( $E_k$ ) se absorver do meio externo uma energia  $E = E_k - E_i$ . Um átomo de hidrogênio tem níveis de energia dados pela equação:

$$E_n = -13,6/n^2 \text{ elétron-Volts (eV)}, \text{ em que } n \text{ é um número inteiro e } n \geq 1.$$

Leia as afirmativas abaixo:

- I. O primeiro nível fundamental ( $n = 1$ ) do hidrogênio tem energia  $-13,6\text{eV}$ .
- II. O primeiro nível de energia excitado do hidrogênio tem energia  $-1,5\text{eV}$ .
- III. O elétron no nível fundamental ( $n = 1$ ) é excitado até o terceiro nível excitado ( $n = 4$ ) se receber uma energia de  $12,75\text{eV}$ .

Das afirmativas acima, a(s) correta(s) é(ão):

- a) I
- b) II
- c) I e II
- d) I e III
- e) II e III

**19 - (UFMA)** Em um laboratório de física, foi realizado um experimento de efeito fotoelétrico, no qual foram utilizadas 5 fontes de radiação do tipo violeta, sendo que cada uma delas possuía uma intensidade diferente das outras.

Com respeito ao experimento descrito acima, pode-se afirmar que:

- a) a energia cinética de cada fotoelétron produzido era inversamente proporcional à constante de Planck.
- b) quanto maior a intensidade da fonte de radiação utilizada, maior era a energia dos fotoelétrons produzidos.
- c) ao variar a intensidade da fonte de radiação a frequência da radiação também variava.
- d) quanto menor a intensidade da fonte de radiação utilizada, maior será o número de fotoelétrons produzidos.
- e) as energias cinéticas dos fotoelétrons produzidos por qualquer das fontes de radiação utilizadas eram iguais.

**20 - (UNIOESTE PR)** Nos últimos anos, tem aumentado o uso de câmaras de bronzeamento artificial. Nestas câmaras são utilizadas lâmpadas que emitem luz ultravioleta que estimula a produção de melanina, pigmento que dá cor à pele, acelerando o bronzeamento. Dos raios emitidos, 95% são do tipo UVA e 5% do tipo UVB. Como os raios UVA não deixam a pele vermelha, o usuário pensa que está longe do risco de um câncer. Preocupadas com tal situação, as autoridades sanitárias brasileiras, através da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), regulamentaram o setor em 2002, através da Resolução RDC nº 308, de 14 de novembro de 2002. Dentre as alternativas abaixo, assinale a INCORRETA:

- a) A energia de cada fóton da luz ultravioleta pode ser calculada através da equação  $E = hf$ , onde  $h$  é a constante de Planck e  $f$  é a frequência da onda.
- b) A duplicação da potência emitida pela lâmpada implica na duplicação da energia transportada por fóton.
- c) A duplicação da potência emitida pela lâmpada implica na duplicação do número de fótons emitidos a cada segundo.
- d) Se o comprimento de onda da luz ultravioleta é de 300 nanômetros (dado que  $1,0$  nanômetro =  $1,0 \times 10^{-9}$  metros), sua frequência é de  $1,0 \times 10^{15}$  Hz.
- e) Se um mol de fótons de luz ultravioleta possui uma energia de 400000 joules, a massa equivalente corresponde a 40/9 nanogramas.

**21 - (FFCMPA RS)** O físico francês LOUIS de BROGLIE teve grande participação no estudo da Física Moderna sobre o comportamento ondulatório da matéria. Conforme sua teoria, a quantidade de movimento linear de um fóton, no vácuo, é tanto menor, quanto maior for

- a) sua energia.
- b) sua frequência.
- c) seu comprimento de onda.
- d) sua massa.
- e) sua aceleração.

**22 - (UFSC)** Um curioso estudante de Ciências utiliza-se de um *site* de busca da *internet* para pesquisar o princípio de funcionamento de

cada um dos aparelhos ou utilitários listados na coluna A da tabela abaixo.

Estabeleça as relações verdadeiras entre os aparelhos da coluna A e os princípios predominantes de funcionamento da coluna B.

Coluna A Aparelhos ou utilitários	Coluna B Princípios de funcionamento ou lei física
(a) Aparelho de microondas	(I) Máquina térmica
(b) Gerador elétrico	(II) Indução eletromagnética
(c) Geladeira	(III) Propagação do calor
(d) Motor de combustão	(IV) Ondas eletromagnéticas
(e) Garrafa térmica	(V) Expansão de um gás
	(VI) Refração da luz

Assinale a(s) proposição(ões) que apresenta(m) apenas relações verdadeiras.

01. a-IV, b-II, c-V

02. a-V, b-III, c-IV

04. c-V, d-I, e-III

08. c-VI, d-IV, e-V

16. a-V, c-VI, e-II

**23 - (UFG GO)** O efeito fotoelétrico, explorado em sensores, células fotoelétricas e outros detectores eletrônicos de luz, refere-se à capacidade da luz de retirar elétrons da superfície de um metal. Quanto a este efeito, pode-se afirmar que

- a energia dos elétrons ejetados depende da intensidade da luz incidente.
- a energia dos elétrons ejetados é discreta, correspondendo aos quanta de energia.
- a função trabalho depende do número de elétrons ejetados.
- a velocidade dos elétrons ejetados depende da cor da luz incidente.
- o número de elétrons ejetados depende da cor da luz incidente.

**24 - (UEL PR)** Atualmente, sabe-se que as partículas que compõem a matéria formadora do Universo podem ter comportamentos de natureza tanto corpuscular como ondulatória. O fato de não observarmos diretamente a natureza ondulatória em objetos materiais macroscópicos, como em uma bola de bilhar de aproximadamente 50 g, possuindo velocidade igual a 5,0 m/s, deve-se:

(Dados:  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$  e  $4,14 \cdot 10^{-15} \text{ e V.s}$ )

- À razão de não ter sido inventado um aparelho ótico que identifique diretamente essa característica da matéria.
- Ao fato de o comprimento de onda associado, que tem o valor de  $2,65 \cdot 10^{-33} \text{ m}$ , ser pequeno para uma detecção, mesmo com aparelhos de medida que alcancem a ordem de grandeza no nível sub-atômico.
- À massa da bola, pois tem um valor muito grande para ser possível a demonstração do caráter ondulatório.
- A uma falha dos postulados de Louis de Broglie e na experiência de Davisson-Germer na medida de comprimento de onda da bola de bilhar.
- Aos centros difratores (orifícios, fendas ou átomos) utilizados para medir a frequência da onda associada à bola, de valor  $1,89 \cdot 10^{33} \text{ Hz}$ , estarem localizados incorretamente nos equipamentos de detecção.

**25 - (UFG GO)** Para explicar as raias espectrais do átomo de hidrogênio, Niels Bohr formulou a hipótese de que para o elétron de massa  $m$  e carga  $e$ , descrevendo uma órbita circular de raio  $r$  e velocidade  $v$  em torno do núcleo, a quantidade  $mvr = (h/2\pi)n$  era quantizada, onde  $n=1,2,3,K$  e  $h$  é a constante de Planck. De acordo com o exposto, determine a expressão do raio das órbitas do elétron em função somente de  $e$ ,  $h$ ,  $m$ ,  $n$ ,  $\pi$  e  $\epsilon_0$ .

**26 - (UNIFOR CE)** Um elétron, no primeiro estado quântico de átomo de hidrogênio, possui velocidade de  $2,0 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ . O comprimento de onda de Broglie desse elétron, em metros, vale:

- $1,2 \cdot 10^{-59}$
- $2,4 \cdot 10^{-16}$
- $3,6 \cdot 10^{-10}$
- $2,4 \cdot 10^{-8}$
- $1,2 \cdot 10^{-6}$

**27 - (UEG GO)** Com base nos conhecimentos atuais da Física, é **INCORRETO** afirmar:

- A velocidade da luz é um invariante físico.
- A energia do Sol tem origem na fusão de átomos de hidrogênio.

- c) É possível gerar energia elétrica em grande quantidade a partir do efeito fotoelétrico.
- d) Nos reatores nucleares a diferença de potencial elétrico é criada no processo de desintegração dos átomos radioativos.

**28 - (UNIMONTES MG)** Uma reação de captura é definida, em Física Nuclear, como aquela que absorve uma dada partícula e gera um estado composto com o elemento principal. Considere a reação de captura de nêutrons pela prata, conforme a reação que se segue:



onde  $^{110}\text{Ag}^*$  é o estado composto formado na reação. O símbolo  $*$  indica que o elemento se encontra num estado excitado de energia (estado instável).

Identifique o componente  $X$  da equação.

- a) Fóton Gama.
  - b) Partícula Alfa.
  - c) Pósitron.
  - d) Elétron.
- 29 - (UFPel RS) De acordo com a Física Moderna e seus conhecimentos, é correto afirmar que:
- a) a luz, composta por fótons, é constituída de ondas longitudinais, propagando-se, também, no vácuo.
  - b) o fóton apresenta um caráter dual, comportando-se ora como onda, ora como partícula.
  - c) a luz é constituída por fótons de diferentes tamanhos conforme a cor.
  - d) a luz é um fluído continuo e com velocidade infinita no vácuo.
  - e) as partículas propagam-se, com velocidade infinita, num meio extremamente elástico, sem peso, chamado éter.
  - f) I.R.

**30 - (UFMS MS)** O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons pela matéria sob a ação de fótons (luz). Os elétrons emitidos possuem variadas energias, sendo os mais energéticos aqueles que estavam menos ligados ao material. Considerando um feixe de luz coerente (única frequência), incidindo sobre a superfície de um material, e que esteja produzindo o efeito fotoelétrico, é correto afirmar:



01. A energia máxima em que os elétrons são emitidos não depende da frequência do feixe de luz incidente.
02. Quanto maior a intensidade do feixe da luz incidente, maior a taxa de emissão de elétrons.
04. A energia de um feixe de luz não depende do comprimento de onda da luz.
08. A emissão de elétrons é explicada pela teoria ondulatória da luz.
16. Os elétrons são emitidos porque absorvem energia dos fótons durante a colisão.

**31 - (UFOP MG)** Do modelo de Bohr, podemos deduzir a seguinte fórmula para os níveis de energia do átomo de hidrogênio:

$$E_n = \frac{13,6eV}{n^2} \quad (n=1,2,3,\dots), \text{ onde } 1eV \text{ (um elétron-volt) é a energia de}$$

um elétron sob a *diferença de potencial* de 1,0Volt . Dados:  $1,0nm = 10^{-9} \text{ m}$   $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$   $h = 6,6 \times 10^{-14} \text{ J.s}$   $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

- a) Calcule a energia, em *Joules*, dos níveis 2 e 3.
- b) Calcule a frequência do fóton emitido quando o elétron “salta” do nível 3 para o nível 2.
- c) Utilizando a tabela abaixo, identifique a cor da luz do item (b) acima.

$\lambda$ (nm)	cor
625 - 760	vermelho
565 - 590	amarelo
520 - 570	verde
420 - 450	azul
380 - 420	violeta

**32 - (UNIMONTES MG)** Em 1913, apenas dois anos após o Físico inglês Ernest Rutherford ter mostrado que o átomo possuía um núcleo, o grande físico dinamarquês Niels Bohr propôs um modelo para o átomo de hidrogênio que não apenas levava em conta a existência das linhas espectrais, mas predizia seus comprimentos de onda com uma precisão em torno de 0,02%. Os postulados que Bohr introduziu para seu modelo são:

1. um átomo pode existir, sem irradiar energia, em qualquer um de um conjunto discreto de estados de energia estacionários;
2. um átomo pode emitir ou absorver radiação apenas durante transições entre esses estados estacionários. A frequência da

radiação e, conseqüentemente, da linha espectral correspondente é dada por  $hf_{if} = E_i - E_f$  ( $h$  é a constante de Planck, cujo valor é  $4,14 \times 10^{-15}$  eV.s).

Um átomo absorve um fóton de frequência  $6,2 \times 10^{14}$  Hz. Com base no modelo de Bohr, a energia do átomo aumenta de, aproximadamente,

- a) 6,0 eV.
- b) 5,2 eV.
- c) 4,1 eV.
- d) 2,6 eV.

**33 - (UNIMONTES MG)** Em 1924, Louis Victor de Broglie, físico e membro de uma distinta família francesa, propôs que, assim como a luz possui características de onda (observada em experimentos de difração) e de partícula (observada no efeito fotoelétrico), a matéria deveria ter também um comportamento dual, apresentando, portanto, comportamento ondulatório, que deveria ser observado em certos experimentos. Louis de Broglie propôs, então, uma equação para calcular o comprimento de onda,  $\lambda$ , de uma partícula com momento linear  $p$ ,  $\lambda = h/p$ ,  $h$  é a constante de Planck, cujo valor é muito pequeno ( $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J·s). Para se ter uma idéia, na tabela abaixo, mostramos os comprimentos de onda para dois objetos em movimento.

Objeto material	Comprimento de onda em metros
Elétron com momento linear de $5,91 \times 10^{-24}$ kg·m/s	$1,12 \times 10^{10}$
Bola de beisebol com momento linear de 5,25 kg·m/s	$1,26 \times 10^{-34}$

O comportamento ondulatório do elétron foi, de fato, observado por George P. Thomson, na Universidade de Aberdeen, Escócia, em 1927, através de experimentos de difração. Nesse experimento, Thomson utilizou o espaçamento entre fileiras de átomos num cristal, como fendas, por onde passava o feixe de elétrons (distâncias da ordem de  $10^{-10}$  m). Os espaçamentos são da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda dos elétrons do feixe.

(Adaptado de HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl; **Fundamentals of Physics Extended**, 4th edition, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1993, p. 1156 – 1158.)

Apesar do sucesso do modelo teórico de Thomson, nunca foi observado o comportamento ondulatório de uma bola de beisebol. Com base no texto, marque a alternativa que melhor justifica, do ponto de vista da Física, a não-observação do fenômeno com a bola de beisebol.

- As bolas de beisebol não podem se mover à velocidade da luz.
- Num experimento que permitisse essa observação, necessitaríamos de fendas muito menores que o espaçamento entre átomos num cristal.
- Objetos que possuem massa não apresentam comportamento ondulatório.
- Para ser possível a observação, a bola de beisebol deveria ter um momento linear muito grande.

**34 - (UFMG MG)** Nos diodos emissores de luz, conhecidos como LEDs, a emissão de luz ocorre quando elétrons passam de um nível de maior energia para um outro de menor energia. Dois tipos comuns de LEDs são o que emite luz vermelha e o que emite luz verde. Sabe-se que a frequência da luz vermelha é menor que a da luz verde.

Sejam  $\lambda_{\text{verde}}$  o comprimento de onda da luz emitida pelo LED verde e  $E_{\text{verde}}$  a diferença de energia entre os níveis desse mesmo LED. Para o LED vermelho, essas grandezas são, respectivamente,  $\lambda_{\text{vermelho}}$  e  $E_{\text{vermelho}}$ .

Considerando-se essas informações, é CORRETO afirmar que

- $E_{\text{verde}} > E_{\text{vermelho}}$  e  $\lambda_{\text{verde}} > \lambda_{\text{vermelho}}$
- $E_{\text{verde}} > E_{\text{vermelho}}$  e  $\lambda_{\text{verde}} < \lambda_{\text{vermelho}}$
- $E_{\text{verde}} < E_{\text{vermelho}}$  e  $\lambda_{\text{verde}} > \lambda_{\text{vermelho}}$
- $E_{\text{verde}} < E_{\text{vermelho}}$  e  $\lambda_{\text{verde}} < \lambda_{\text{vermelho}}$

**35 - (UFRN RN)** Rotineiramente, observa-se que a luz solar, quando refletida pela face gravada de um CD (Compact Disc), exhibe as cores correspondentes ao espectro da referida luz. Tal fenômeno ocorre porque, nesse caso, o CD funciona como

- rede de difração.
- placa polarizadora.
- prisma refrator.
- lente refletora.

**36 - (UFC CE)** No início do século XX, novas teorias provocaram uma surpreendente revolução conceitual na Física. Um exemplo interessante

dessas novas idéias está associado às teorias sobre a estrutura da matéria, mais especificamente àquelas que descrevem a estrutura dos átomos. Dois modelos atômicos propostos nos primeiros anos do século XX foram o de Thomson e o de Rutherford. Sobre esses modelos, assinale a alternativa correta.

- a) No modelo de Thomson, os elétrons estão localizados em uma pequena região central do átomo, denominada núcleo, e estão cercados por uma carga positiva, de igual intensidade, que está distribuída em torno do núcleo.
- b) No modelo de Rutherford, os elétrons são localizados em uma pequena região central do átomo e estão cercados por uma carga positiva, de igual intensidade, que está distribuída em torno do núcleo.
- c) No modelo de Thomson, a carga positiva do átomo encontra-se uniformemente distribuída em um volume esférico, ao passo que os elétrons estão localizados na superfície da esfera de carga positiva.
- d) No modelo de Rutherford, os elétrons movem-se em torno da carga positiva, que está localizada em uma pequena região central do átomo, denominada núcleo.
- e) O modelo de Thomson e o modelo de Rutherford consideram a quantização da energia.

**37 - (UFPE PE)** O efeito fotoelétrico, explicado por Albert Einstein em 1905, constitui um dos marcos iniciais no desenvolvimento da Física Quântica. Assinale, dentre as alternativas a seguir, a única característica observada do efeito fotoelétrico que está de acordo com a previsão da Física Clássica, quando fotoelétrons são emitidos a partir do cátodo.

- a) A existência de uma frequência de corte da radiação incidente.
- b) O crescimento da corrente fotoelétrica com a frequência da radiação incidente.
- c) A ausência de intervalo de tempo apreciável entre a incidência de radiação no cátodo e o estabelecimento da corrente fotoelétrica.
- d) O crescimento da corrente fotoelétrica com a intensidade da radiação incidente.
- e) A dependência da energia cinética dos fotoelétrons com a frequência da radiação incidente.

**38 - (UFRGS)** Em 1999, um artigo de pesquisadores de Viena (M. Arndt e outros) publicado na revista Nature mostrou os resultados de uma experiência de interferência realizada com moléculas de fulereno – até então os maiores objetos a exibir dualidade onda-partícula. Nessa experiência, as moléculas de fulereno, que consistem em um arranjo de 60 átomos de carbono, eram ejetadas de um forno e passavam por um sistema de fendas antes de serem detectadas sobre um anteparo. Após a detecção de muitas dessas moléculas, foi observado sobre o anteparo um padrão de interferência similar ao do elétron, a partir do qual o comprimento de onda de *de Broglie* associado à molécula foi então medido. Os pesquisadores verificaram que o comprimento de onda de *de Broglie* associado a uma molécula de fulereno com velocidade de 220 m/s é de  $2,50 \times 10^{-12}$  m, em concordância com o valor teoricamente previsto.

Qual seria o comprimento de onda de *de Broglie* associado a uma molécula de fulereno com velocidade de 110 m/s?

- a)  $1,00 \times 10^{-11}$  m
- b)  $5,00 \times 10^{-12}$  m
- c)  $1,25 \times 10^{-12}$  m
- d)  $6,25 \times 10^{-13}$  m
- e)  $3,12 \times 10^{-13}$  m

**39 - (UFBA)** [...] com a conexão de nanopartículas magnéticas a células cancerosas, seria possível aplicar um campo magnético alternado suficientemente forte para movimentar essas partículas e aquecer o tumor, provocando a eliminação do câncer sem os indesejados efeitos colaterais da quimioterapia e radioterapia.

(KNOBEL, 2005, p. 26). Em referência às terapias do câncer citadas no texto, é correto afirmar:

- 01. O aumento da temperatura local está associado ao aumento da energia potencial elétrica média do sistema constituído pelas partículas da célula cancerosa e pelas nanopartículas.
- 02. A aplicação de campos magnéticos alternados levará à mudança periódica da orientação dos campos magnéticos das nanopartículas.
- 04. O aumento da temperatura produzido pela vibração de nanopartículas aumenta a probabilidade de ruptura de ligações químicas e de morte das células cancerosas.

08. Nanopartículas magnéticas substituem, com êxito, as fibras protéicas que orientam a distribuição equitativa dos cromossomos na telófase, favorecendo divisões mitóticas normais.
16. O aquecimento do tumor pelo magnetismo, desnaturando proteínas essenciais à funcionalidade celular, pode justificar sua utilização no tratamento do câncer.
32. O isótopo  ${}^{60}_{27}\text{Co}$ , utilizado em radioterapia, tem massa atômica igual a 60g.

40 - (UEPB)

“Quanta do latim  
 Plural de quantum  
 Quando quase não há  
 Quantidade que se medir  
 Qualidade que se expressar  
 Fragmento infinitésimo  
 Quase que apenas mental...”  
 (Gilberto Gil)

O trecho acima é da música Quanta, que faz referência ao quanta, denominação atribuída aos pequenos pacotes de energia emitidos pela radiação eletromagnética, segundo o modelo desenvolvido por Max Plank, em 1900. Mais tarde Einstein admite que a luz e as demais radiações eletromagnéticas deveriam ser consideradas como um feixe desses pacotes de energia, aos quais chamou de fótons, que significa “partículas de luz”, cada um transportando uma quantidade de energia. Adote,  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  e  $1\text{ev} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ . Com base nas informações do texto acima, pode-se afirmar que:

- quando a frequência da luz incidente numa superfície metálica excede um certo valor mínimo de frequência, que depende do metal de que foi feita a superfície, esta libera elétrons;
- as quantidades de energia emitidas por partículas oscilantes, independem da frequência da radiação emitida;
- saltando de um nível de energia para outro, as partículas não emitem nem absorvem energia, uma vez que mudaram de estado quântico;
- a energia de um fóton de frequência 100MHz é de  $663 \cdot 10^{-28} \text{ ev}$ ;

- e) o efeito fotoelétrico consiste na emissão de fótons por uma superfície metálica, quando atingida por um feixe de elétrons.

**41 - (UFMT MT)** Sob o ponto de vista da Física Contemporânea, analise as proposições.

- I. A matéria pode exibir um comportamento ondulatório.
- II. No modelo de Bohr, apenas certas órbitas estáveis são permitidas ao elétron.
- III. O efeito foto-elétrico independe da frequência da onda incidente.
- IV. A matéria não pode ser convertida em energia.

São corretas as proposições

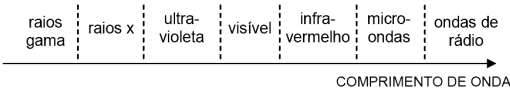
- a) II e IV, apenas.
- b) I e II, apenas.
- c) II, III e IV, apenas.
- d) I, II e III, apenas.
- e) I, II, III e IV.

**42 - (UNESP)** Sabe-se que a energia de um fóton é proporcional à sua frequência. Também é conhecido experimentalmente que o comprimento de onda da luz vermelha é maior que o comprimento de onda da luz violeta que, por sua vez, é maior que o comprimento de onda dos raios X. Adotando a constância da velocidade da luz, pode-se afirmar que

- a) a energia do fóton de luz vermelha é maior que a energia do fóton de luz violeta.
- b) a energia do fóton de raio X é menor que a energia do fóton de luz violeta.
- c) as energias são iguais, uma vez que as velocidades são iguais.
- d) as energias dos fótons de luz vermelha e violeta são iguais, pois são parte do espectro visível, e são menores que a energia do fóton de raio X.
- e) a energia do fóton de raio X é maior que a do fóton de luz violeta, que é maior que a energia do fóton de luz vermelha.

**43 - (EFOA MG)** A energia de um fóton de uma onda eletromagnética de frequência  $f$  é dada pela equação  $E = hf$ , onde  $h$  é a constante de Planck. Sabe-se também que a capacidade de penetração de uma onda

eletromagnética aumenta com a energia do fóton. O diagrama abaixo ilustra a localização relativa, no espectro eletromagnético, de algumas das radiações conhecidas.



É CORRETO afirmar que:

- as ondas de rádio têm maior capacidade de penetração que os raios x porque possuem maior frequência.
- os raios gama têm maior capacidade de penetração que a radiação ultravioleta porque possuem menor frequência.
- a radiação visível tem menor capacidade de penetração que a radiação de microondas porque possui menor frequência.
- a radiação infravermelha tem menor capacidade de penetração que os raios x porque tem menor frequência.
- a radiação visível tem maior capacidade de penetração que a radiação ultravioleta porque tem menor frequência.

**44 - (UNESP)** De acordo com o modelo atômico atual, os prótons e nêutrons não são mais considerados partículas elementares. Eles seriam formados de três partículas ainda menores, os quarks. Admite-se a existência de 12 quarks na natureza, mas só dois tipos formam os prótons e nêutrons, o quark up (u), de carga elétrica positiva, igual a  $2/3$  do valor da carga do elétron, e o quark down (d), de carga elétrica negativa, igual a  $1/3$  do valor da carga do elétron. A partir dessas informações, assinale a alternativa que apresenta corretamente a composição do próton e do nêutron.

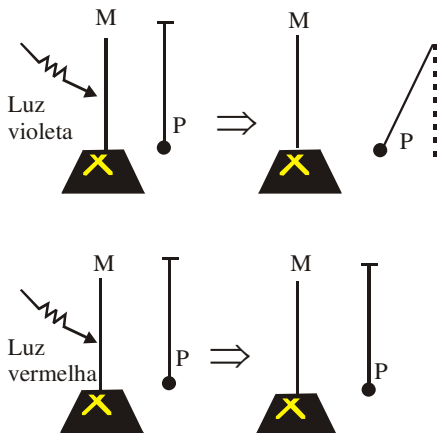
- |    | próton  | nêutron |
|----|---------|---------|
| a) | d, d, d | u, u, u |
| b) | d, d, u | u, u, d |
| c) | d, u, u | u, d, d |
| d) | u, u, u | d, d, d |
| e) | d, d, d | d, d, d |

**45 - (UFSC)** Dispõe-se de uma placa metálica **M**, e de uma esferinha metálica **P**, muito leve, suspensa por um fio isolante, ambas, inicialmente, neutras e isoladas. Um feixe de luz violeta incide



sobre a placa, e, logo em seguida, a bolinha é atraída. Repetindo-se a operação com luz vermelha, isso não ocorre.

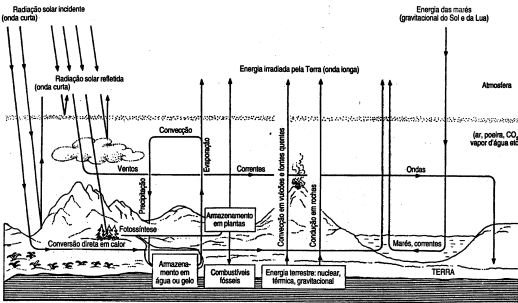
As figuras abaixo ilustram o desenrolar dos fenômenos.



Sobre esses fenômenos, é CORRETO afirmar:

01. a intensidade da luz vermelha foi menor que aquela da luz violeta.
02. a placa M, ao ser iluminada pelo feixe violeta, ficou eletrizada.
04. a placa M estava pintada com tinta violeta.
08. a massa das partículas luminosas do feixe violeta é maior do que a do feixe vermelho.
16. o fóton de luz violeta tem maior energia que o fóton de luz vermelha.
32. aumentando-se o tempo de iluminação da placa M com luz vermelha, ela passaria a atrair a esferinha P.

**46 - (UFSC)** O diagrama acima representa fluxos de energia na Terra.



As principais fontes de energia são a radiação solar (~99% do total), a proveniente de interações gravitacionais (com Sol e Lua) e de origem nuclear.

(Adaptado de HUBBERT, M. *Scientific American*, Sept., 1971)

Sobre o conceito de Energia, é CORRETO afirmar que:

01. a transformação de energia que ocorre no Sol não cessará nunca.
02. a necessidade de economizar energia é uma indicação de que na prática ela não se conserva.
04. no Brasil, a maior parte da energia elétrica que utilizamos provém da transformação de energia solar.
08. a energia obtida de reações nucleares provém da redução de massa.
16. o total de energia no Universo diminui constantemente.

**47 - (UEL PR)** A estrutura interna do átomo só foi explicada adequadamente com o advento da física moderna através da Mecânica Quântica. Uma descrição bastante simples do átomo foi proposta pelo físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962) em 1913. Segundo este modelo, os elétrons se movem em torno do núcleo, sob a ação da força de Coulomb, em orbitais circulares e estáveis. Utilizando os dados abaixo, calcule a velocidade linear aproximada do elétron no átomo de hidrogênio, que é formado de um elétron e um próton.

Dados:

$r = 5 \times 10^{-11} \text{ m}$  é o raio da órbita;

$m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  é a massa do elétron;

$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$  é a carga do elétron em módulo;

$K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$  é a constante de proporcionalidade.

- a)  $v \cong 7 \times 10^3 \text{ m/s}$
- b)  $v \cong 7,1 \times 10^1 \text{ m/s}$
- c)  $v \cong 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- d)  $v \cong 5 \times 10^{12} \text{ m/s}$
- e)  $v \cong \sqrt{5} \times 10^6 \text{ m/s}$

**48 - (PUC RS)** A quantização da energia eletromagnética é evidenciada no efeito:

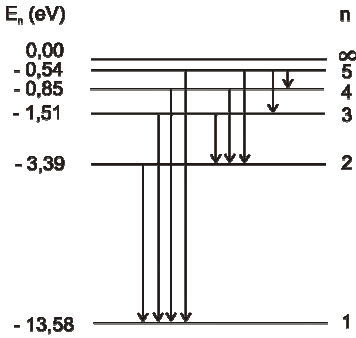
- a) doppler.
- b) oersted.
- c) paramagnético.
- d) fotoelétrico.
- e) joule.

**49 - CONSIDERE O SEGUINTE ENUNCIADO:**

Para obter experimentalmente o espectro do átomo de hidrogênio, colocam-se átomos de hidrogênio dentro de um tubo de vidro selado, como numa lâmpada. Quando a lâmpada é ligada, uma diferença de potencial é aplicada entre os eletrodos. Neste instante, os íons positivos e os negativos existentes no tubo são acelerados para eletrodos opostos, ocorrendo o que chamamos como descarga elétrica. No caminho para os eletrodos, os íons podem se chocar com os átomos de hidrogênio. Nessas colisões, o elétron de cada átomo de hidrogênio ganha energia e passa do estado fundamental para algum estado excitado, após um intervalo de tempo ao redor de  $10^{-8}$  segundo, o elétron que foi excitado decai para o estado de energia menor, emitindo um fóton.

OKUNO, Emico et al. Radiação Ultravioleta: características e efeitos. São Paulo: Livraria da Física, 2005, p.26.

A Figura mostra um diagrama para vários níveis de energia do átomo de hidrogênio. Um elétron-volt (eV) corresponde a  $1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ .



**50 - (UFCG PB)** Segundo o modelo de Bohr, a emissão de um fóton de cor vermelha ocorre quando o elétron decai do estado  $n=3$  para  $n=2$  (a raia  $H\alpha$ ). A raia  $H\beta$  ocorre quando o elétron decai do estado  $n=4$  para  $n=2$ . Em relação às emissões dessas raia pode-se afirmar, EXCETO, que:

- não é possível escrever uma função que determine a posição do elétron em função do tempo durante a transição que origina  $H\beta$ .
- os fótons emitidos e que constituem a raia  $H\beta$  não estão na região das radiações gama.
- as energias de um fóton da raia  $H\beta$  e de um fóton da raia  $H\alpha$  não podem ter qualquer valor.
- os fótons de  $H\beta$  são muito penetrantes e permitem fotografar os ossos da mão de uma pessoa.
- ao se observar a luz emitida por uma lâmpada de hidrogênio através da reflexão por um disco laser (CD) é possível ver as radiações correspondentes a  $H\alpha$ .

## 7. Material de Apoio

### 7.1 CD de Apoio



## 7.2 DVD - “Nanotecnologia: O Futuro é Agora!”