UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE EDUCAÇÃO

FRAGMENTOS E TOTALIDADES NO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

E NO ENSINO DE CIÊNCIAS

José André Peres Angotti

1991

UFSC-BU

Tese submetida à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo como requisito final para a obtenção de título de Doutor em Educação.

Orientador: Luís Carlos de Menezes

SC-00008222-9

Biblioteca Central - UFSC

Nº

0152

Data

03/01/1985

BU/DFT

0.188.287-7

0152
03/01/1985
UFSC

Para Isa;
para Bruno que está chegando
e
"to allll my frriends"

RESUMO

Ciência e Tecnologia são considerados empreendimentos culturalmente referenciados, para além de históricos e sociais. A categoria dual Fragmentos e Totalidades é contemplada tanto na criação científica quanto no seu ensinar-aprender. Diante das prevalências do conhecimento fragmentado e do componente inercial que resiste ao novo na educação científica dos vários níveis de escolarização, é proposta a adoção de conceitos supradisciplinares e unificadores para ancorar o tratamento didático-pedagógico desse conhecimento. As possibilidades de conquistas de ganhos culturais pelos educandos na estruturação de unidades interligadas de saber são discutidas e avaliadas.

ABSTRACT

Science and Technology are determined by cultural relations, besides their constraints with historical and societal process. The dualistic category Fragments & Wholeness is considered in epistemological and pedagogical references. In opposition to the fragmentation process and the inercial component to the new knowledge that still remains in all the Science Education levels, the adoption of unifying concepts as anchors for the didactic treatment of this knowledge is proposed. The possibilities of cultural acquirements conquered by the students during the construction of knowledge structures in the perspective of linkages and unities are discussed and evaluated.

AGRADECIMENTOS

Vários colegas, professores, funcionários e estudantes da USP e da UFSC sempre estimularam este trabalho. Cada um, à sua maneira, contribuiu para que ele fosse elaborado.

Contei felizmente com interlocutores que a partir da leitura dos originais forneceram preciosas sugestões. Demetrio e Marta, em particular, estiveram sempre bastante próximos.

Paulo Iervolino foi companheiro de todas as horas, não somente como professor de computação/edição.

Luís Carlos de Menezes orientou o trabalho com presença marcante em momentos decisivos.

Maria Tereza de Queiroz Piacentini colaborou sobremaneira com seu trabalho exemplar de revisão no seu sentido mais completo.

Durante parte do programa de doutoramento, fui bolsista do CNPq. Depois de me transferir para a UFSC, contei com o estímulo e a compreensão dos responsáveis do Centro de Educação- Prof. Valpi Costa; Mestrado em Educação- Profa. Edel Ern e Departamento de Metodologia de Ensino- Profs. Ivette Bosco e Vilson Francisco de Farias.

A todos os meus agradecimentos. *Um abraço.*

Alice e Mário emprestaram aquela força por ocasião das providências finais para a entrega do trabalho.

SUMÁRIO

	PÁGINA
INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO 1 - ALGUMAS QUESTÕES SOBRE A CULTURA	06
1.1 - CONCEITO DE CULTURA, PRESSUPOSTOS E DECORRÊNCIAS	
PARA A CIÊNCIA E A TECNOLOGIA (C&T)	06
1.2 - CIÊNCIA E TECNOLOGIA: SEMELHANÇAS E DIFERENÇAS	11
1.3 - CIÊNCIA E TECNOLOGIA NO BRASIL - LOCALIZAÇÃO	
HISTÓRICA E PERSPECTIVAS	15
1.4 - EDUCAÇÃO E ENSINO DE C&T NO BRASIL	21
1.4.1 - A ESCOLA E O ENSINO DE CIÊNCIAS QUE QUEREMOS	24
1.5 - O PROBLEMA: FRAGMENTOS E TOTALIDADES NO ENSINO DE	
CIÊNCIAS	27
NOTAS E REFERÊNCIAS I	31
CAPÍTULO 2 - FRAGMENTOS E TOTALIDADES NO ENSINO DE	
CIÊNCIAS - DOMÍNIO EPISTEMOLÓGICO	33
2.1 - PRESSUPOSTOS E CRITÉRIOS TEÓRICOS	33
2.2 - MATÉRIA E CONSCIÊNCIA	35
2.3 - ORDEM EXPLÍCITA E ORDENS IMPLÍCITAS	43
2.3.1 - O EXEMPLO E A REPRESENTAÇÃO FORMAL DA ORDEM	50
2.3.2 - A ORDEM IMPLÍCITA E O HOLOMOVIMENTO	57
2.4 - O DESEQUILÍBRIO E A REDESCOBERTA DO TEMPO	61
2.5 - OBSERVANDO OS OBSERVADORES	68
NOTAS E REFERÊNCIAS II	73

CAPÍTULO 3 - FRAGMENTOS E TOTALIDADES NO ENSINO DE	
CIÊNCIAS - DOMÍNIO PEDAGÓGICO	77
3.1 - CRITÉRIOS E PRESSUPOSTOS TEÓRICOS	77
3.2 - EDUCAÇÃO FUNDAMENTAL E PROFISSIONALIZAÇÃO	78
3.3 - OS DOIS NÍVEIS DE CULTURA E A EDUCAÇÃO ESCOLAR	80
3.4 - A PEDAGOGIA RADICAL E A NOVA RACIONALIDADE	91
NOTAS E REFERÊNCIAS III	100
 CAPÍTULO 4 - CONCEITOS UNIFICADORES E ENSINO DE CIÊNCIAS	 101
4.1 - SOBRE O CONFLITO ENTRE O SENSO COMUM E O	
CONHECIMENTO ELABORADO	101
4.2 - A NATUREZA DO CONCEITO CIENTÍFICO	104
4.3 - ABORDAGEM TEMÁTICA E CONCEITUAL UNIFICADORA	107
4.4 - CONCEITOS, CONTEÚDOS E ESCOLA UNITÁRIA	109
4.4.1 - A ESCOLA UNITÁRIA	109
4.4.2 - CONTEÚDOS	110
4.5 - CARACTERIZANDO OS QUATRO CONCEITOS UNIFICADORES	114
NOTAS E REFERÊNCIAS IV	119
 CAPÍTULO 5 - CONCEITOS UNIFICADORES DE PRIMEIRA ORDEM	 121
5.1 - TRANSFORMAÇÕES	121
5.2 - REGULARIDADES	126
5.3 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DIDÁTICA: UM TEMA E DOIS	
CONCEITOS UNIFICADORES	130
NOTAS E REFERÊNCIAS V	134

CAPÍTULO 6 - CONCEITOS UNIFICADORES DE SEGUNDA ORDEM	135
6.1 - ENERGIA	135
6.2 - ESCALAS	141
6.3 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DIDÁTICA: ESCALAS E APLICAÇÃO CONJUNTA DOS OUTROS TRÊS CONCEITOS	148
6.3.1 - O PALCO	148
6.3.2 - OS ATORES	152
6.3.3 - O ATOR COMPLETO	156
NOTAS E REFERÊNCIAS VI	159
CAPÍTULO 7 - FÍSICA: COMPARTIMENTOS E UNIDADE	161
7.1 - TRÊS QUESTÕES DE FÍSICA PARA O ENSINO DE FÍSICA	161
7.2 - ENSINO DE FÍSICA NO PRIMEIRO E SEGUNDO GRAUS	163
7.3 - ENSINO DE FÍSICA BÁSICA NO TERCEIRO GRAU: CURSO DE ENGENHARIA	164
7.3.1 - ANALISANDO DADOS DE UMA ENQUETE	165
7.4 - REFLEXÃO E PROPOSIÇÃO	182
7.5 - TEXTOS UTILIZADOS E A PROPOSIÇÃO	187
NOTAS E REFERÊNCIAS VII	192
CONCLUSÕES	194
BIBLIOGRAFIA	200
ANEXO	A
APÊNDICE 1 - PARTE A	IA
- PARTE B	IB
APÊNDICE 2	II
APÊNDICE 3	III
APÊNDICE 4	IV

INTRODUÇÃO

Estou na escola e com a escola desde meados dos anos 50. Antes era apenas aluno, de 70 até hoje tenho sido também professor - educador de Ciências Naturais e de Física, inicialmente no primeiro grau, logo depois no segundo e mais tarde no terceiro e quarto graus.

A prática aliada à teoria me acompanham desde então; a consciência e a convicção de que ela- a escola- encerra um espaço onde se deve privilegiar *o conhecimento* em todas as suas múltiplas dimensões cada vez mais se tornam claras. Simultaneamente, estou convicto de que boa parte do conhecimento veiculado e das relações processadas neste espaço demandam mudanças radicais que possam se traduzir em efetivas *rupturas* e não apenas em inovações. Tais mudanças serão conquistadas (ou não) somente com a participação engajada dos professores. Outras relações que se processam na escola devem sim ser mantidas e implementadas, ajustadas ao nosso tempo e lugar. Provavelmente, jamais abandonadas.

O trabalho que apresento consiste num esforço voltado para divulgar e debater aspectos que considero ricos instrumentos teóricos, de maneira a contribuir , junto a outros esforços, para alavancar um movimento na direção da *mudança* pretendida.

Escrevo para meus pares, os professores de todas as disciplinas. Como o conhecimento é setorizado, queiramos ou não, escrevo mais especificamente para os de Ciências Naturais (CN). Considero então como meus interlocutores e críticos os docentes em primeiro lugar.

É relativamente fácil indicar aos leitores o que esta tese não contempla diretamente. Materiais de ensino, metodologia do ensino de Ciências, psicologia da aprendizagem não são áreas prioritárias. Estão agregadas às dimensões *epistemológicas* e *pedagógicas* do conhecimento em CN, estas sim diretamente contempladas.

Apreendi ao longo do exercício e da reflexão que os materiais de ensino devem ser cuidadosa e criticamente elaborados e escolhidos, que metodologias- desde que associadas a conteúdos- são também decisivas nos processos de ensino-aprendizagem. Sobretudo, apreendi que os estudantes de distintas nacionalidades apresentam dificuldades para conquistar algum conhecimento sistematizado que substitua seus pré-conceitos ou concepções espontâneas impregnados pelo senso comum. Todas essas evidências são frutos do ambiente educacional escolar, resultantes do embate dos educandos, do primeiro ao quarto grau, com algum conhecimento.

É na escola que as dificuldades devem ser enfrentadas; é na educação escolar que os embates e conflitos ocorrem (ou não). Sem negar outros espaços ricos de aprendizagem que, de alguma forma, possibilitem aos escolarizados *ganhos culturais*, sustentarei que a responsabilidade maior é

da educação escolar e que os campos epistemológico e pedagógico podem indicar pistas para as transformações desejadas.

Quando me refiro ao *conhecimento*, incluo os conteúdos-metodologias possíveis para se conquistar algum sucesso nas ações pedagógicas. Refiro-me em especial a *conceitos*, no sentido de universais, que precisam ser enfatizados ao longo destas ações. Todos os conceitos científicos? Não! Apenas alguns que carregam dimensões supradisciplinares e unificadoras do conhecimento em Ciência e Tecnologia (C&T). Apesar das diferenças entre os dois empreendimentos, aqui, para fins de educação, defendo o seu imbricamento.

Por que a proposição *conceitual unificadora*?

Não é tão fácil responder na introdução; cerca de 300 páginas adiante procuram cumprir essa e outras questões anteriores e decorrentes. Mas, em resumo, é possível ‘telegrafar’ e encaminhar o leitor para os capítulos e a conclusão do trabalho.

O universo talvez não seja estruturável; o conhecimento que reúne modelos dos homens sobre o universo o é. Através da História, os homens avançaram com estes modelos, estas representações que são reflexos tanto daquilo que lhes é externo quanto daquilo que lhes é interno. Os homens são natureza mas não se restringem a esta inclusão, eles a modificam deliberadamente. Arquitetam os espaços-tempos exteriores e interiores e avançam suas representações num fazer/refazer incessante.

Tais representações adquiriram um impulso sem precedentes a partir dos séculos XVI e XVII, com o nascimento da ciência moderna. No século seguinte, com a tecnologia moderna- em escala, da primeira revolução industrial-, a impulsão se acelerou. Claro que esses empreendimentos são humanos, sujeitos a riscos/insucessos e perigos como outros. Marcaram entretanto uma nova cosmovisão, permitiram ganhos e saltos enormes.

Daquela época para cá, o conhecimento em profundidade tem sido cada vez mais valorizado e avançado. É imanente à Ciência o processo de *fragmentação*. Seu processo complementar, o da *totalização*, igualmente perseguido, acreditava-se poder ser obtido através do somatório das partes aprofundadas. Atualmente, temos indicadores que contestam essa crença, mas ela ainda persiste.

Se persiste na Ciência e na Tecnologia (C&T), seus reflexos na educação científica se mantêm quase que parametrizados pela crença original. É justamente esse conflito entre os *fragmentos* e as *totalidades* do conhecimento em CN e em Tecnologia que norteiam o trabalho a que me dedico. É este o tema, a categoria principal que identifica a tese.

Como alternativa aos processos de ensinar-aprender CN que destacam, conscientemente ou não, a fragmentação do seu saber, estou propondo uma abordagem que enfatiza a utilização dos

‘conceitos unificadores’, para que as totalizações do saber em construção dos alunos tenham alguma chance no espaço escolar.

Muitos dizem que o uso de analogias empobrece as discussões e as proposições. Contudo, todos acabam sucumbindo a elas. Não serei exceção.

Quando, por algum motivo (em geral a fome), pensamos em ‘batatas’, podemos imaginá-la inteira- na terra, na feira ou na cozinha- , como podemos pensá-la em pedaços- fritos, cozidos, assados, na forma de palha, rodela, fatias maiores. De uma forma ou outra, *é batata!* Uma diferença contudo precisa ser acentuada; não se fazem os pedaços sem o tubérculo à disposição. Analogamente, o conhecimento não é construído a partir de ‘pedaços de nada’. Os fragmentos só fazem sentido porque presos a universos de saber mais amplos.

Na educação em C&T, parece que esse aspecto essencial é esquecido. Os fragmentos do conhecimento em Física por exemplo se arrogam, via atuação dos porta-vozes desse conhecimento, como entidades autóctones, independentes.

Contra essas crenças, confusões e mesmo contra convicções que apostam na eventual independência dos fragmentos do saber científico, estou, ao lado de outros, empenhado.

Assim, resumidamente e com auxílio de analogia, reforço que o trabalho se enquadra na direção da *‘mudança conceitual’*; porém direção de mudança conceitual com endereço, que já tem alguma pista aberta. Não se trata de privilegiar todos os conceitos relevantes das CN ou da Física, mas somente alguns. Outros que historicamente vêm sendo muito destacados, como o de ‘massa’ e o de ‘força’, são até questionados quanto às suas exclusividades. Em contrapartida, o de ‘energia’, potente demais para indicar pistas ao conhecimento estruturado em uma das ciências e no conjunto delas, é bastante considerado, uma vez que ainda ocupa pequeno espaço nos diversos graus da educação escolar.

Com relação aos graus de escolarização, adianto que não dirijo o trabalho apenas para um deles, muito menos para uma de suas séries. Considerando suas diferenças e, conseqüentemente, respeitados os níveis cognitivos dos alunos, procuro mostrar a potencialidade da utilização dos conceitos unificadores em todos eles.

A tensão principal entre os *fragmentos* e as *totalidades* do conhecimento que a escola tem responsabilidade de transmitir/contextualizar/construir e reconstruir, assim como a proposição *conceitual unificadora* estão colocadas e refletidas após um pressuposto essencial que compartilho com alguns, o de que tanto a Ciência quanto a Tecnologia são empreendimentos humanos culturalmente referenciados. No Brasil, por razões históricas- da colonização e da educação- , e principalmente por razões políticas em toda sua História, os dois empreendimentos sempre estiveram à margem da cultura.

Começo assumindo o conceito antropológico de *cultura* e discutindo a inserção do conhecimento em C&T na cultura ocidental e brasileira, posições não usualmente adotadas na educação brasileira. Alguns aspectos sobre ‘tecnologia e ciência’ e sobre ‘educação brasileira’ são

considerados também neste primeiro capítulo. Ao seu final, o recorte que demarca a categoria principal que a tese estuda- o conflito entre F&T- é situado.

No capítulo 2 a dimensão epistemológica do conflito entre F&T é aprofundada a partir da contribuição de teóricos escolhidos mediante critérios claramente definidos. Este capítulo, que como todos é endereçado principalmente a educadores e professores de CN, aborda novos aspectos críticos do empreendimento científico que normalmente não atingem o universo de leitura e compreensão desses docentes, seja durante a sua formação, seja durante o exercício profissional. Como tais aspectos contribuem para a reflexão crítica do trabalho educativo na medida em que valorizam a *problematização* dos embates humanos com o conhecimento, sua ocultação não pode persistir porque, dentre outros prejuízos, as *rupturas* já evocadas se tornam mais distantes e difíceis.

No terceiro, é destacada a dimensão pedagógica do mesmo conflito, balanceado por novas categorias que vêm surgindo e ganhando terreno na discussão mais ampla e complexa do contexto educacional, para além do Ensino de CN. Os pressupostos e os critérios estão igualmente explicitados; os autores escolhidos não são familiares aos professores de CN, mesmo que tenham sido e continuem sendo discutidos amplamente por especialistas em pedagogia. Aqui procuro vincular os compromissos do professor de CN; ele deve deter obrigatoriamente um conhecimento específico que ressoe com conhecimentos do campo pedagógico. Essa ressonância e a reciprocidade entre os conhecimentos o estimulam a reavaliá-los, enriquecendo sua esfera de reflexão e de prática em sala de aula. Em resumo, lembrar e ressaltar que somos '*professores de ...*' e também *educadores*.

Nos capítulos 2 e 3, o '*novo*' epistemológico e pedagógico pede passagem. Queremos reafirmar que o compromisso com a mudança que demanda rupturas está presente.

Nos capítulos 4, 5 e 6 apresentamos, tanto teoricamente como através de exemplos já testados, as possibilidades didático-pedagógicas dos quatro conceitos unificadores que vimos destacando em nossa prática e reflexão há alguns anos. Estão sistematizados, hierarquizados e ordenados em seqüência ao longo dos três capítulos, sempre dirigidos aos docentes.

O capítulo 7 localiza alguns problemas e dificuldades do ensino de Física- minha área mais pontual de pesquisa e atuação- que insistem em se manter, obstruindo o avanço de novas alternativas e proposições. O tratamento conceitual unificador aplicável aos três níveis de escolaridade é sugerido, para se avançar na conquista de ganhos culturais e simultaneamente colaborar para que as obstruções sejam vencidas. Em particular, focalizamos o conjunto de disciplinas básicas oferecidas aos cursos de Engenharia (no terceiro grau), com auxílio de uma enquête promovida junto a instituições e professores de várias regiões do país, e indicamos possibilidades de alteração do quadro atual.

Conclusões e novas questões finalizam o trabalho.

OBSERVAÇÕES.

1. Cada um dos capítulos é acompanhado de NOTAS E REFERÊNCIAS numeradas no texto. A bibliografia reúne o material consultado diretamente para elaboração da tese e leituras que marcaram posição junto ao autor ao longo de sua trajetória. Rodapés estão descartados.
2. Sempre que possível, comentários, palavras consagradas ou bizarras e expressões de outros autores estão delimitadas no texto por 'aspas simples'. Destaques do autor são grafados em *itálico*.
3. Anexo e apêndices complementam o trabalho, embora sua leitura não seja obrigatória. Para uma leitura compreensiva que não demanda especificidades, também as NOTAS E REFERÊNCIAS podem ser dispensadas.
4. *Todo* o trabalho de elaboração da tese é do autor. Obviamente, muito do que está aqui é aprendizagem de grupo ou mesmo coletiva. Refiro-me ao operacional; desde a primeira digitação, passando por todas as revisões e correções. Desta maneira, *todas* as eventuais incorreções são de sua responsabilidade. Não tenho a desculpa do *revisor, do datilógrafo ou digitador*. Com relação à forma e à estrutura, a tese foi competentemente revisada, depois da colaboração rica de interlocutores. Esse operacional muito nos ensina; com as superações que somos obrigados a fazer com as 'coisas simples', nos disciplinamos e avançamos. Custou um bom tempo, custou enfrentar o simpático 'sinfrônio', um 'PC' usado e abusado que se comportou bem, porém que apresentou aleatoriamente algumas viroses e neuroses! Estão certos aqueles que dizem: 'Como é difícil fazer as coisas simples!'
5. Usei originais sempre que possível, fazendo traduções obrigatórias para as citações. Discuti e testei o quanto pude este aspecto do trabalho. Entretanto, não se pode esquecer o trocadilho "traduttori-traditori"!
6. Expressões abreviativas adotadas por motivos óbvios de repetição ao longo de todo o texto: Ciências Naturais (CN); Ciência e Tecnologia (C&T); Fragmentos e Totalidades (F&T).

CAPÍTULO 1 - ALGUMAS QUESTÕES SOBRE A CULTURA

1.1- CONCEITO DE CULTURA; PRESSUPOSTOS E DECORRÊNCIAS PARA A CIÊNCIA E A TECNOLOGIA (C&T)

A *cultura*, em qualquer acepção, se constitui em relações complexas que caracterizam práticas sociais. No passado era pensada como algo restrito ao plano espiritual ou conceitual. Em tempos mais recentes, sobretudo da segunda metade de nosso século para cá, cultura pode incorporar uma conceituação mais ampla, antropológica.

Esta cultura reúne também as bases materiais da vida, incluindo portanto ciência, pura e aplicada ; aquela cultura exclui, ou minimiza, as bases materiais, admitindo somente o conhecimento científico ‘desinteressado’.

O conceito restrito ainda faz mais ressonância na sociedade brasileira ¹, em parte justificada pela história de nossa educação, que, a partir do século XIX, foi mais próxima da escola francesa. O conceito amplo é mais recente, com difusão e receptividade que tendem a aumentar ².

A cultura antropológica tem origem no pensamento inglês e americano, de natureza mais empírica e pragmática, tendo sido adotada inicialmente por antropólogos e etnólogos, que, em seus campos de atuação, precisaram estender a compreensão da cultura (está em ‘A Cultura Brasileira’, Prefácio, citado em 2).

De seu lado, a escola alemã, com sua tradição de pesquisa impregnada pela investigação filosófica, vem caracterizando o conceito de ‘Kultur’ mais no sentido da extensão do que da restrição. Pensadores da influente Escola de Frankfurt a utilizam, ainda que hierarquizando níveis de cultura e resistindo à impregnação do tecnológico na prática cultural, dada sua crítica à ‘racionalidade instrumental’ e à ‘indústria cultural’.

Como exemplo dessa resistência, temos Marcuse, que, ao criticar a concepção de ‘racionalidade’ de Weber, com a categoria de ‘razão instrumental’ (do empresário capitalista e do trabalhador assalariado), chega a especular sobre uma nova ciência e técnica, pois

"uma emancipação não seria concebível sem uma revolução na ciência e na técnica"-³

(Marcuse, apud Habermas, 1983: 316).

Uma compreensão radical do empreendimento científico pode sempre ser encontrada nos escritos daquele e de outros pensadores da Escola.

Mesmo Habermas, em 'Técnica e Ciência enquanto Ideologia', não deixa de distinguir a sua técnica e ciência da sua cultura:

"...forma universal de produção material, a técnica circunscreve toda uma cultura; ela projeta uma totalidade histórica, um 'mundo'"
(Habermas, 1983: 319)

Penso cultura mais amplamente, incorporo ciência e tecnologia (C&T), evitando 'circunscrições' e valorações, sejam a favor, sejam contra C&T. As consequências desta concepção de cultura para a educação e a ciência, bem como para o ensino de CN, serão apresentadas e discutidas. Não parece um tanto estranho alguém, hoje, pensar em uma ciência 'desinteressada'?

Mesmo etnias que não detêm código escrito de seus dialetos possuem cultura, dominam técnicas e têm sua 'ciência'. Faltam-lhes os adjetivos, uma vez que não têm cultura elaborada, a técnica não é tecnologia (planificada, industrial), a 'ciência' é ingênua, pouco ou nada sistematizada.

Para a distinção daquelas sociedades relativamente à nossa, prefiro o conceito de 'civilização'. Na falta desta, tornam-se objeto da 'nossa' antropologia.

Passemos agora à nossa cultura, brasileira, parte da assim chamada 'cultura ocidental'. Passemos, paralelamente, à nossa ciência e nossa educação, via História, categorizando a evolução pela continuidade e pela ruptura que Bachelard usa, e tantos outros, como Snyders⁴.

Começemos por um corte, através de uma situação sugerida: sejam dois especialistas brasileiros, Fulano e Ciclano, ambos na ponta de sua área, carreiras acadêmicas de sucesso. Fulano é psicólogo, Ciclano físico. Fulano está à frente de uma grande platéia, maioria de pares, imprensa presente. Ciclano na mesma situação, outro local. A certa altura, Fulano afirma que não conhece nada sobre 'Conservação de Energia', nem está preocupado em saber, classificando-se como um consumidor dos resultados destas 'outras ciências áridas'; Ciclano, por sua vez, afirma que não conhece nada sobre 'Complexo de Édipo', classificando-se como especialista que não tem tempo para estas 'coisas exóticas'.

Pergunto: Como reagirão as duas platéias? O que será destacado nas reportagens? Quais serão os comentários de cada uma das platéias nos corredores? Haverá simetria nas críticas sobre as lacunas do conhecimento de cada um?

A mesma situação pode ser imaginada também por dois especialistas, de áreas interdisciplinares, como Fulano é Antropólogo e ignora 'Estática', Ciclano é Engenheiro e ignora 'Evolução'. Aplicam-se as mesmas questões.

Ao imaginarmos as respostas, abrimos um campo de investigação para a nossa história cultural, principalmente a da educação e a da ciência.

De 1650 a 1760, a educação brasileira evoluiu de embrionária a quase implantada em todo o país, sob controle dos jesuítas. Esboçou-se aqui na colônia uma unidade nacional que passava pela escola e capela, contra uma divisão nacional, desejada pela metrópole, estimulada via capitanias.

Nesses dois séculos, o país conviveu com diversos conflitos, como o cultural, o lingüístico, o do 'estado versus igreja', o dos 'educadores versus patriarcas de casas grandes' e mesmo 'jesuítas versus bandeirantes'. Claro que a unidade nacional esboçada pelos jesuítas priorizou os valores da metrópole.

O conflito que não ocorreu foi o do '*saber religioso versus saber novo, científico*', presente na Europa a partir do século XVII. Não ocorreu por um projeto sutil, embora determinado, dos jesuítas, apoiados pela metrópole, que consistia em simplesmente negar, ignorar a existência deste novo saber ⁵.

Na Europa não ibérica passa-se um século de luz após a reforma e a revolução científica; nas metrópoles ibéricas e principalmente aqui, passa-se o mesmo século na escuridão. O estudo, o ensino e a nova forma de abordar o 'real', que definem um novo conhecimento, foram, até o final do século XVII, ignorados e boicotados, estendendo-se mesmo, dados os componentes inerciais da educação, às primeiras décadas do século XVIII.

A ciência entra muito tardia no Brasil, os reflexos da educação de homens 'cultos', bacharéis e liberais' (está na referência 1), até hoje impregnam nossa sociedade. Sabemos que, no terreno das especialidades, o campo das ciências naturais possui hoje maior fatia de financiamento do que outras áreas para pesquisa, mas esta preferência atual, presente também em muitos outros países, não invalida a afirmação acima, característica histórica da formação de toda uma sociedade.

Por muito tempo valeu tão-somente o bom linguajar e a retórica, o desprezo pelo trabalho manual e a observação contemplativa, o saber pelo saber desinteressado, ou o saber que promove e credencia aos postos políticos e às esferas da metrópole, da corte e república.

Depois de Pombal e mesmo depois de D.João VI, notamos em nossa história da educação a dificuldade em se promover um esboço de cultura científica e mesmo tecnológica. A falta de universidades não justifica este atraso e tamanha reação; outros países sem ensino centralizado por universidades têm evolução distinta da nossa.

O dogma religioso praticado pelos jesuítas, o dever de estudar legados de Aristóteles sem poder questioná-los, através do 'Ratio Studiorum' de Ignácio de Loyola e do 'Suma Teológica' de Tomás de Aquino, justificam o atraso e a negação do novo conhecimento.

Mesmo o levantamento de flora e fauna, do subsolo e seus minerais estratégicos, demorou demais a ser feito e, quando começou a ser feito, o foi por estrangeiros. As lacunas obviamente se refletiram e se propagaram nas escolas e currículos, afetando o comportamento de nossa gente,

escolarizada ou não. Há mais espaço para a magia (independente de religiosidades e outros sincretismos culturais), o fatalismo, do que para a relação mais simples entre causa e efeito.

Estamos a discutir uma lacuna, um vazio que, de tão largo, obstruiu um conflito que poderia ter aflorado anteriormente, o de Religião (dogmas) versus Ciências Naturais (ainda que fosse com seus dogmas).

Como colônia católica de um império católico frágil, seria impossível ter sido criada aqui uma tradição científica, à semelhança de outros países europeus, com tradição e cultura científicas. Outras ex-colônias, mesmo inglesas, padecem também de falta desta tradição ⁶. Porém, nada passou nos filtros de interesse da metrópole e da ordem monástica que detinha a educação em suas mãos.

Antes negada, hoje inacessível à grande maioria da população, a ciência no Brasil é posse de especialistas, um fragmento exótico, um clube restrito cujos associados são pequenos grupos que detêm conhecimento profundo e especializado em seus domínios.

No Brasil 'moderno', as pessoas assistem TV, acionam botões e interruptores, adubam terras, consomem bens úteis e outros nem tanto, sem ter acesso ao conhecimento fundamental que embasa essas produções humanas; além disso, sem ter conhecimento crítico, organizado e dinâmico, que possa nortear seletividades e posicionamentos frente à parafernália tecnológica ao longo de sua existência.

Falamos dos poucos que têm chance de freqüentar escola até o 2º grau; não vamos exigir posturas novas da grande maioria, marginalizada às últimas conseqüências. Impedidos até de pensar, como poderão, em curto prazo, superar tais barreiras? Certamente a educação escolar tem papel importante nesta dívida; o resgate, as soluções plausíveis, devem passar por ela.

O dado a ser considerado é o acesso marginal que a população tem aos resultados da Ciência Aplicada, controlados pelos processos tecnológicos e pela política econômica. Assim, há de fato uma participação, confusa e alienada, das pessoas, na 'modernidade brasileira'. Modernidade que coleciona lances infelizes, como o 'Acidente de Goiânia', a devastação de florestas, a propaganda irresponsável de remédios 'milagrosos' nas emissoras de rádio potentes e o debate barulhento sobre os destinos do Proálcool e o uso de Metanol. Modernidade falsa que não instrumentaliza o cidadão a participar, a alterá-la, a transformá-la. Falta de educação! Falta de educação em C&T!

Estamos às vésperas de uma nova LDB e de novo Plano Nacional de Educação. É bom lembrar nossas dívidas, enquanto educadores, para com as maiorias. Dívidas em quantidade, talvez maior ainda em qualidade.

Para a formação cultural ampla e aberta, que demanda novos caminhos para a educação escolar; para a socialização de um saber crítico, histórica e socialmente determinado, há que se incluir o conhecimento básico em Ciência e Tecnologia, concebidos como instrumentos culturais, com destaque.

Naturalmente, o '*como fazer*' e o '*o que fazer*' estão também em discussão e serão considerados neste estudo. Por ora, ressalto o '*fazer necessário*'.

Ao se reforçar algumas conquistas e ampliar outras para o ensino de CN, teremos espaço e condição para dar continuidade a projetos de ensino que poderão contribuir na direção do enriquecimento cultural desejado. Projetos, necessariamente em escala, não apenas os pontuais e microscópicos. Dar continuidade e provocar rupturas é tarefa nossa, hoje e do porvir.

Convicto de que Ciência e Tecnologia são partes da cultura, à semelhança de outros empreendimentos humanos, de que o ensino de CN não se dará apartado do universo tecnológico e de que a responsabilidade da aprendizagem na área é da educação escolar, busco elementos que possam subsidiar um conhecimento básico e aberto a novas entradas (pois que conhecimento em evolução) no campo das CN.

O conhecimento científico não pode prescindir de suas especificidades, mesmo quando concebido como cultura. Ensinar uma base para muitos aponta para o conflito entre a *profundidade* e a *extensão* deste conhecimento. Mesmo nas diversas áreas das CN, temos um conflito permanente entre '*especialização e universalidade*'.

A raiz deste problema localiza-se na tensão entre os *fragmentos* e as *totalidades* no enfrentamento do real, e suas dosagens, adequadas ou não. O problema que investigo é lançado tanto no terreno epistemológico, de onde emergem e são criticadas as especialidades versus o suposto conhecimento unitário, quanto no pedagógico, de onde emergem e são criticadas alternativas particularizadas de ensino-aprendizagem versus integradoras.

Nestas duas fontes, focalizando esses e outros antagonismos, localizo substrato que possa sustentar proposta para conquistas de unidades estruturadas do conhecimento em CN, que será referenciado, analisado e contemplado com proposta educativa, nos próximos capítulos.

Ainda neste capítulo primeiro, passaremos a discutir a relação entre C&T e sua evolução na história brasileira, bem como essa relação tomada como pressuposto para o nosso trabalho.

1.2- CIÊNCIA E TECNOLOGIA : SEMELHANÇAS E DIFERENÇAS

A inter-relação entre os empreendimentos sociais de Ciência e de Tecnologia (C&T) é intensamente debatida. Algumas tendências apontam para o distanciamento entre C&T; Solla Price (1965) argumenta nesta direção. Outras, mais identificadas com a visão externalista, concebem tanto Ciência como Tecnologia mergulhadas nas relações sociais. Bernal (1969) é representante reconhecido desta direção ⁷.

Como estamos empenhados em contribuir para que C&T passem a ser cada vez mais incorporadas na cultura, nossa posição já está definida; C&T são interdependentes, sem negar especificidades de cada uma das construções humanas. Por exemplo, Ciência é mesmo mais fechada, tecnologia forçosamente mais aberta, com tentáculos diretamente conectados à economia/mercado.

Com apoio na filosofia da ciência e também na sociologia do conhecimento, estudos recentes tentam discutir o mesmo problema. Consideramos oportuno apresentar pelo menos um desses estudos na contemporaneidade, cujo cenário apresenta cada vez mais uma tecnologia *cientificizada*. Contudo, diferenças que persistem merecem destaque. É o que apontaremos, discutindo publicação de Clark, de 1987 ⁸

Clark apóia-se na concepção de Barnes, que, partindo da contribuição de Khun sobre Ciências Naturais, extrapola suas idéias para todo tipo de conhecimento. Barnes defende ser qualquer conhecimento determinado por razões de ordem prática e ideológica no sentido mais amplo.

A validade do conhecimento científico está sempre relacionada aos interesses do conhecimento buscado, e nunca poderá se referir à verdade objetiva. Barnes, à semelhança de outros, como David Bohm (ver cap. 2, seção 2-3), discorda da maneira muito estável que Khun trabalha a 'ciência normal'.

Para Barnes, todo tipo de ciência (revolucionária, normal ou qualquer outra) é socialmente contextualizada e vinculada cognitivamente.

As normas sociais que determinam os avanços em ciência são associadas em primeiro lugar *com previsões e controle técnicos; em segundo, embora mais oculto, à persuasão e legitimação*. Neste último caso, não se trata de justificar as óbvias relações de proteção corporativas, mas sim as mais sutis, ligadas a concepções de mundo de ordem metafísica.

Um bom exemplo de Clark para elucidar tais interesses é o da pesquisa microbiológica preocupada em atribuir causas a doenças humanas. Por trás desta pesquisa, localizam-se as seguintes crenças:

"a natureza permite que a pesquisa fragmentada das partes de qualquer sistema pode, quando agregada, nos informar o comportamento significativo de todo o sistema; que o problema está no vírus e não no ambiente celular que ele habita; que o vírus é a causa primeira das doenças; que ao matá-lo estaremos resolvendo o problema ; que a quimioterapia através de drogas é a melhor arma, etc."
(Clark, 1987: 29, tradução minha)

Tais crenças, partilhadas pelos pacientes até porque não lhes restam alternativas, caracterizam uma forte função social, permitindo aos grupos de cientistas prosseguirem sua pesquisa com a segurança da validade acadêmica. Porém, apesar de cercada de interesses e de objetivos, a ciência continua sendo, num certo sentido, um sistema fechado.

Segundo Clark, C&T formam um sistema constituído por uma busca incessante de conhecimento ancorado em dois conjuntos de forças: aqueles relacionados ao mercado para mercadorias e serviços por um lado, aqueles relacionados aos 'interesses e metas' dos pesquisadores por outro (Clark, 1987: 40).

Freqüentemente, tais forças estão em direções antagônicas. Os interesses estão ligados à cognição, ideologia, posição social e institucional, enquanto as metas econômicas estão ligadas às demandas dos consumidores e suas satisfações.

Quando as forças de mercado são poderosas, há condição para se pressionar continuamente C&T. Contudo, quando não conseguem condição de pressionar- dado o hermetismo do conhecimento, por exemplo nas ciências médicas restrito a uns poucos 'experts'- ou quando consumidores não podem decidir com facilidade sobre a qualidade de produtos, prevalecem os procedimentos que seguem as regras dos interesses e metas das comunidades de C&T.

Em contraposição ao modelo estático que enquadra C&T, aquele que localiza a ciência como o reservatório do qual a tecnologia se nutre, Clark propõe um modelo interativo, cujas características básicas são a seguir discutidas (Clark, 1987: 37/38).

Em uma ponta, os interesses do mercado, ou "*demandas*"; na outra, os interesses da comunidade de profissionais em C&T. Ao longo dessa linha, uma permanente tensão. Uma nuvem opaca separa os interesses conflitivos da natureza da pesquisa. A espessura dessa nuvem pode ser reduzida em algumas frentes. Esta é, a nosso ver, uma proposição mais alinhada com a corrente 'realista'.

O setor científico mais próximo e diferenciado, entre a 'natureza e as construções sociais da Ciência'; o setor tecnológico mais complexo e mais próximo da ponta do mercado com suas 'demandas'. Claro, ocorrem fortes ligações entre os setores de Ciência e de Tecnologia. Paradigmas compartilhados dão consistência e mediatizam as conexões entre os conhecimentos dos dois setores.

Portanto, há uma alimentação, um 'overlapping' entre as atividades de Pesquisa e Desenvolvimento; alguns laboratórios estão mais voltados para pesquisa básica - caracterizando

uma ligação tênue; outros mais próximos de produtos de mercado - caracterizando uma ligação forte.

Uma rede multidimensional é formada entre C&T. Os paradigmas da Tecnologia que mediatizam e dão coerência ao conhecimento permitem o fluxo deste aos produtos que atingem os consumidores.

Clark insiste na caracterização dos paradigmas tecnológicos, mais complexos que os de ciência porque mais expostos. Diz textualmente que

"se não existissem tais paradigmas, seria preciso inventá-los".
(Clark, 1987: 39)

Na comparação entre os paradigmas dos dois empreendimentos, Clark agrupa semelhanças, como:

- a necessidade de suprir as bases para um desenvolvimento heurístico,
- os interesses de várias ordens que dão origem a perspectivas conservadoras,
- e também a possibilidade de surgirem candidatos alternativos que satisfaçam condições para mudanças radicais.

Quanto às diferenças, elas estão localizadas em dois pontos fundamentais:

- em primeiro lugar, os paradigmas tecnológicos são intrinsecamente mais diferenciados e sistêmicos;
- em segundo, mais vulneráveis a choques externos, particularmente os decorrentes de competições e mercados. É neste sentido que Tecnologia se define como um sistema mais aberto.

Clark não é tão categórico com relação à ênfase na complexidade sistêmica dos paradigmas tecnológicos. Lembra contudo da função de escala, da heterogeneidade estrutural, em parte consequência de necessárias ligações entre indústrias, em parte devido às relações sócio-econômicas intrínsecas da atividade tecnológica.

Como exemplo, na produção aeroviária temos ligações fortes entre consumidores, organização de aeroportos, projeto e manutenção de máquinas, autoridades reguladoras, construção de aeronaves, cadeia de linhas aéreas e toda uma rede intrincada. A lista de componentes pode ser acrescida de setores da economia significativos para o fluxo de entrada/saída do sistema, como instrumentos, metais, petróleo. Há exemplos semelhantes e até mais complexos, como o de correios.

Dada esta diferenciabilidade paradigmática não se pode conceber tecnologia enquanto entidade homogênea. Entretanto, os paradigmas existem. É o caso, por exemplo, da relação de troca entre usuários e fornecedores de uma situação reconhecida como difusora de tecnologia, aquela que aponta para novos produtos e novas possibilidades. Citamos aqui os materiais cerâmicos já presentes em componentes de motores de veículos de competição esportiva.

Engenheiros suprem com esta tecnologia de ponta motores de veículos. Os pilotos (pequeno grupo) participam de competições e da difusão em larga escala, via mídia.

Persistem por um tempo os motores clássicos, metálicos, mas ‘desconfiamos’ que ocorrerá a mudança, já previamente difundida e até vulgarizada.

A segunda característica singular dos paradigmas tecnológicos está ligada às bases necessárias para mudanças. Existem *parâmetros físicos* que indicam mudanças ou não. Embora muitas vezes os produtos sejam transformados, isto ocorre mais na aparência do que nas transformações efetivas, que alteram tais parâmetros. Desta forma, temos muita regularidade na medida em que tais parâmetros e relações físicas permanecem inalterados por largos períodos. Estudos confirmam esta regularidade em tratores, aviões, aparelhos de comunicação e mesmo computação.

Há uma considerável evolução tecnológica, mesmo quando mantidas tais invariâncias. No caso dos tratores, não ocorreu mudança significativa de 1917 a 1935, apesar de incrementos em capacidade e complexidade nestas máquinas. Permaneceu um paradigma, relacionando uma série de proporções, como potência/velocidade ou velocidade/economia de combustível. Clark cita a tese de Sahal, que correlaciona inovações com a escala física. Um novo conjunto de proporções físicas definirá um novo paradigma, desde que seja capaz de quebrar uma tradição. Poderá contribuir então para mudança tecnológica efetiva.

Períodos que podem ser considerados ‘normais’, alternados com outros considerados ‘revolucionários’, parecem estar presentes na História da Tecnologia, ainda que com diferenças em relação à Ciência.

Aproximações entre C&T nos auxiliam a identificar elementos que possam fortalecer uma proposição com ênfase conceitual nas ações educativas em CN (a ser desenvolvida nos caps. 4 a 6).

A busca de traços comuns de C&T pode sugerir ‘novos paradigmas de ensino’ alternativos aos atuais. Para que isto ocorra, os novos devem ser fortes o suficiente para promover mudanças significativas na educação em CN. Esta analogia de raciocínio em pesquisa, fortemente apoiada nos autores que discutiremos posteriormente pelo viés epistêmico (cap. 2), encontra ressonância em estudos no campo crítico da Tecnologia. Barnes, e por sua vez Clark, lança mão dos determinantes sociais neste empreendimento.

Nossa investigação se pautará mais pelos campos epistemológico e pedagógico nos dois próximos capítulos. Contudo, a posição que defendo para o ensino de CN está comprometida com o campo tecnológico, aquele que divulga a Ciência às maiorias. Deve-se partir do conhecido, mais tecnológico, desvendá-lo o melhor possível, identificando o conhecimento científico que lhe dá suporte. Simultaneamente, busco a estruturação conceitual que permita novas compreensões do escopo de C&T.

1.3- CIÊNCIA E TECNOLOGIA NO BRASIL - LOCALIZAÇÃO HISTÓRICA E PERSPECTIVAS

Alguma referência do processo lento e atrasado do desenvolvimento científico brasileiro pode ser encontrado hoje em publicações mais específicas, não mais somente nos 'clássicos'. Temos esforços de historiadores da ciência no país, com registro e documentação, publicados em livro, como 'História da Ciência no Brasil', coordenado pelo prof. Shozo Motoyama, periódicos sob responsabilidade do 'Centro de Epistemologia, Lógica e História' da UNICAMP, e pesquisas individuais mais localizadas, como as do professor Karl Lorenz, estas mais voltadas para os livros didáticos de CN adotados nas escolas secundárias do século passado.

Boa parte dos registros apontam relatos e descrições factuais de contribuições científicas, sobretudo das Ciências Aplicadas. A partir da criação da USP e de outros centros de pesquisa, temos também os anais, publicações e depoimentos de pesquisadores, centrados nos alcances de pesquisa deste século, já empreendida por instituições e grupos, não mais por iniciativas isoladas⁹.

Na especificidade do conhecimento da Física, impressiona o novo espírito que o professor Gleb Wataghin imprimiu aos jovens estudantes da USP recém-criada, com resultados surpreendentes em curto período. Um autêntico exemplo de educação científica para a pesquisa. O professor Marcelo Damy, um dos alunos pioneiros da USP nesta especificidade, que já havia cursado Engenharia, afirmou em depoimentos e entrevistas que seu estudo anterior era sobre uma 'física acabada', pronta para aplicações. Não imaginava ele que poderia, juntamente com seus colegas, contribuir para o processo de investigação em Física, o que de fato ocorreu com o novo estudo de uma ciência viva, apreendida nas suas teorias mais recentes e revolucionárias. Toda uma nova postura foi conquistada, sob a liderança do professor Wataghin. Por certo, uma educação para poucos, mas com resultados significativos. Não temos muitos exemplos semelhantes no ensino de Física, sobretudo quando mudamos de escala, aquela da educação para muitos, voltada para formações diversas, principalmente do segundo e primeiro graus.

Sucessos semelhantes ao da 'Física da USP' ocorreram no CBPF e em outras áreas de pesquisa, em algumas universidades federais ou institutos, como o de 'Manguinhos'. Não seria exagero nosso afirmar que só existe Ciência no Brasil enquanto produção de saber por grupos especializados, a partir deste século, década de 30. A afirmação não exclui esforços anteriores, de estudiosos isolados, estrangeiros e brasileiros, nem uma certa dedicação ao fazer e ao saber, sem contudo produzir conhecimento, pelas antigas faculdades.

Porém, como pesquisa que enfrenta uma ciência viva e aberta para contribuições, nossa sociedade não tem história antes dessa época recente. Hoje, temos instituições respeitáveis que

abrigam pesquisadores de ponta com formação e participação no empreendimento de C&T, comparáveis aos seus pares de qualquer país avançado. São poucos, mas competitivos.

Com relação à tecnologia, é pobre a documentação histórica brasileira. Além dos clássicos (Azevedo e Freire e, até certo ponto, Euclides da Cunha), os documentos são raros além de pouco divulgados. Percebemos ainda um certo distanciamento dos estudiosos para com as *artes* (dos artesãos), o planejamento urbano, o transporte, a metalurgia, os equipamentos agrícolas e todo um conjunto que apóia a base material da vida coletiva no Brasil.

Dois aspectos contribuem para essa falta de documentação, além daquele principal relativo ao nosso atraso científico e tecnológico. O desprezo ao fazer, aspecto pouco prestigiado do saber técnico, e a separação rígida entre Ciência e Tecnologia. Claro que esses aspectos estão ligados, entretanto o resultado negativo é, dentre outros, a pequena documentação histórica disponível.

Com relação ao empreendimento de C&T contemplado historicamente na sua dimensão global, pelo menos no ocidente, temos contribuições como a de Bernal que não separa CN de tecnologia. Temos no país o esforço de pesquisa do professor Ruy Gama, que procura privilegiar o tecnológico esquecido, mas não centra sua atenção no desempenho da sociedade brasileira ¹⁰.

Obras que resgatam e questionam a contribuição das técnicas (*artes*) dos artesãos na evolução do processo de investigação em Ciência e, mesmo em outras correntes do pensamento, são raras no país. Por razões históricas, de educação e valoração, ainda não conseguimos colocar esse esforço humano no mesmo plano de destaque que outros. Convivemos nos dias atuais, ao que tudo indica, com a influência do pensamento grego entre nós, reforçada pela separação rígida cartesiana das dimensões corpórea e mental. Talvez essa deficiência ainda seja característica também no exterior, com relação a obras de reflexão, polêmicas, para além daquelas dos manuais, que suprem os interessados com o fazer de técnicas diversas.

Como contra-exemplo dessa situação, temos a publicação de Paolo Rossi, traduzida para o português recentemente, que será discutida adiante ¹¹.

O empreendimento tecnológico, considerado como

"descrição através do discurso lógico e pormenorizado dos processos produtivos"
(Katinsky, sd:32),

sumariado nas enciclopédias de D'Alembert e Diderot, não está presente em nossa História. A 'Enciclopédia' mereceu neste ano de 1990 sua primeira tradução entre nós. Definitivamente, a proposta de Pombal não fez sucesso em 200 anos!

Katinsky (sd) comenta a ausência de autores neste ramo, ou pelo menos a ausência de um tipo fundamental de autor, uma vez que

"os estudos que ressaltam a incrível operosidade de um povo oprimido por um regime iníquo, foram realizados por folcloristas, historiadores da arte ou mesmo artistas, pessoas geralmente avessas a qualquer raciocínio balizado pelas categorias econômicas (...). Quantos ourives, quantos pedreiros trabalharam no Brasil em cada época?"
(Katinsky, sd: 30/31)

Segundo o mesmo autor, há indícios que denotam a existência de 'trabalho livre nos engenhos, assim como de trabalho escravo nas vilas e cidades'.

Alguns trabalhos técnicos de religiosos e engenheiros militares são disponíveis enquanto relatos, mas longe de constituírem material crítico na perspectiva tecnológica aqui discutida.

Ao visitarmos Olinda e Ouro Preto somos pressionados por estas questões. Como diria Brecht, não foram senhores e sacerdotes que construíram e planejaram esses centros. Onde estão os mestres, artífices, operários especializados? Aqui, como alhures, seguramente banidos de nossa história.

Os registros, os problemas de enfrentamento das questões práticas, a absorção de técnicas indígenas e africanas, também estão praticamente banidos. Só lembrados, mesmo enaltecidos, quase mistificados em clássicos como o de Freire (Casa Grande e Senzala), porém sem discussão crítica. Esses registros preciosos, ainda que incompletos, são utilizados por historiadores americanos e europeus, como os 'brasilianistas' e, na Inglaterra, Basil Davidson. Entretanto, obras como a de G. Freire pouco têm contribuído no Brasil para o esclarecimento do tecnológico imbricado aos processos produtivos; claro que os historiadores são estudiosos não preocupados em desvelar os processos tecnológicos, associá-los à ciência básica e contextualizá-los.

Os estudos de José Bonifácio, por exemplo, são breves, mesmo ao considerarmos que ele se classificava como um profissional da metalurgia. Como sabia que outros problemas sociais e econômicos se sobrepunham àquele e a esses também se dedicava, acabamos pouco sabendo sobre sua pesquisa, na profissão.

No estudo também breve, enquanto exame empírico, do professor Katinsky, não se amplia o saber das técnicas para além do que já se sabia da História Política, como ele afirma:

"Um país explorado até a exaustão, onde todas as possibilidades de abertura para novas situações estavam bloqueadas(...); contudo, sem negar inteiramente o quadro anterior, conseguimos perceber tênues testemunhos de uma notável operosidade e engenhosidade(...), exercida em um quadro dos mais adversos."
(Katinsky, sd: 26).

Apesar de negada e dissimulada como forma inferior de saber, temos bastante a investigar sobre nossa evolução tecnológica.

Se não tivemos em época colonial o conflito entre o saber dogmático antigo e o novo- científico-, muito menos tivemos a contraposição entre o saber prático-técnico e o teórico-conceitual, presente na Europa dos séculos XVI e XVII. Ainda que minimizadas em sua contribuição, as 'artes mecânicas' são consideradas pelos doutos e filósofos.

Os desabafos de artesãos, resgatados em obras atuais como a de Rossi (1989, cap.1), contra o saber sistematizado e coroado pelo latim, nunca chegaram aqui, à exceção de exemplos localizados, como a fala de Galileu, via Brecht, no campo artístico.

Há, portanto, muito por fazer neste terreno; por exemplo, uma pesquisa exploratória sobre os processos tecnológicos da sociedade brasileira, conectada à metrópole e demais países europeus colonizadores, com participação de especialistas em categorias balizadas pelas categorias econômicas.

Artesãos e homens engenhosos procuram trabalhar as 'coisas', no sentido último da filosofia natural; atalham deliberadamente ou não os caminhos das construções conceituais, embora contribuam muito para as sociedades onde vivem. Isto é válido para o passado, embora hoje questionado, dada a evolução tempestiva e cada vez mais acelerada dos processos tecnológicos. As 'coisas' investigadas atualmente prescindem de intervenções sofisticadas de tecnólogos e cientistas, sobretudo no plano intelectual.

Os processos de escolarização devem trabalhar este conflito. Por um lado, não desprezar nem ao menos minimizar o fazer, o construir, o inventar; por outro, não abdicar dos processos intelectuais das abstrações, de que por justo direito os estudantes devem se apossar. Os estudantes das classes populares têm consciência dessa demanda, como já estudado por Kuenzer (1986).

Na autêntica educação para a cidadania que se busca, haverá espaço seguro para a natureza prática e também teórica, ambas críticas, do conhecimento universal.

A importância de um ensino de CN incorporado aos processos tecnológicos é fundamental para atingirmos essa meta. Um ensino que rompa com o atual, que não seja mais pautado pelo livresco e que não negue nem escamoteie as possibilidades de intervenção. Intervenção pelos alunos, na natureza, seja bruta, seja transformada.

Ensino que não caia nas malhas da *dicotomia entre teoria e prática*. Essa dicotomia está muito presente e forte em nossas salas de aula, com opções tendenciosas, ora para uma ponta, ora para outra.

Temos enfrentado essa questão com professores de CN, apontando para o equilíbrio (dinâmico) entre o ensino de teoria e também de prática. Há muita resistência e dificuldade dos professores pois o novo incomoda, o transformador amedronta, as lacunas de formação dificultam. Mas existe a possibilidade de uma *pedagogia radical* e transformadora.

No próprio estudo do desenvolvimento científico, a tendência de se esnobar o conhecimento prático e as 'artes', contestada desde o início não só pelos artesãos, como também por cientistas pioneiros como Galileu, desaguou na vertente contemplativa e 'desinteressada' da ciência. Já alertamos para essa concepção no início do capítulo e constatamos que em clássicos de nossa 'cultura' temos essa caracterização.

A história das técnicas, associada à da Ciência, pelo menos aquela trabalhada na perspectiva externalista, como as contribuições de Hessen, Bernal e Rossi (consultar cap.1, item 1.2 desta tese), em oposição aos internalistas, quase exclusivistas como Solla Price (ver item 1.2), nos ensina o quanto de colaboração e aliança aconteceu entre saberes científico e técnico artesanal nas épocas anteriores à revolução industrial. Difícil, impossível mesmo, continuar negando essas interações.

É pouco conhecido no Brasil que, antes de Galileu publicar seus resultados na língua de maior difusão, a 'italiana', publicavam-se na Europa tratados e manuais dedicados aos obreiros e artesãos que não sabiam latim ¹².

Quanto ao isolamento desses cidadãos, cada um com a sua arte, é falso. Confrarias e círculos de artesãos existem desde a Idade Média, com bibliotecas, cursos e diversas atividades, seja de sapateiros, seja vidreiros; foram fundadas para fortalecer e disseminar técnicas. Bernal as localiza (consultar nota 8 deste cap.). Tais confrarias não podiam conviver com sociedades científicas, porque simplesmente estas ainda não existiam. As academias de ciência são muito mais recentes; estamos considerando Ciência como empreendimento moderno, pós-século XVI, época que demarca os primeiros contactos entre a Europa e o Brasil Colônia.

Na grande transição do conhecimento humano que caracteriza a Renascença, na relação da arte maior da pintura com o artesanato, sabemos que muitos ou quase todos os expoentes da criação em artes visuais, provieram de profissões pequeno-burguesas, como artesãos/artistas. Como indica Rossi(1989:34), houve uma profunda mudança de mentalidade desses homens; de artesãos, os artistas passaram a burgueses, ou 'gentis-homens'. Depois da transição, não ficaria bem ao artista moer pigmentos, preparar telas, montar palcos e fabricar instrumentos mecânicos.

Em Florença, ao lado de museus soberbos que expressam a máxima criatividade em pintura, escultura e arquitetura, convive um belo museu de Ciência e Tecnologia. Lá estão o telescópio de Galileu, os termômetros clínicos de primeira geração, as ampulhetas e os primeiros relógios. Não saíram do nada. O metal, o vidro, o couro, a madeira, foram forjados e conformados para concretizar os instrumentos concebidos.

As pinturas e esculturas são materiais produzidos e forjados pelos homens de seu tempo. Boa parte da pintura medieval usava o ouro em pó para representar o céu. Não se trata somente de espírito religioso! A limitação técnica também contribuía para a falta de um pigmento azul de qualidade. O azul-da-prússia não era disponível na época. A presença dessa cor em profusão na

Renascença, tanto nos temas religiosos como profanos, se deve também à disponibilidade tecnológica e não somente a um suposto realismo deliberado.

Ou será que nessa época as novas possibilidades não apontavam também para novas concepções e cosmovisões, como a recíproca? Exemplo de interação forte entre C&T.

Se personalizarmos as contribuições da época, cairemos na polêmica que acompanha os personagens. Afinal, Leonardo da Vinci descobriu algo, como a maioria defende e aceita, ou apenas era inventivo? Galileu fazia as suas propaladas experiências?

Porém, se mantivermos a preponderância dos esforços coletivos, não há como escapar da imbricação entre Ciência e Técnica que florescia na Europa renascentista. Até hoje toda essa fabulosa contribuição dos homens é pouco difundida entre nós. O ensino de CN no Brasil destaca-se por enaltecer alguns 'gênios' sem contextualizar sua época, cultura e tecnologia.

Ao considerarmos a época contemporânea, o porvir do século XXI, muito mais razões teremos para a incorporação dos estudos científicos aos tecnológicos e vice-versa. Estamos às voltas com engenharia genética, telescópios em órbita, supercomputadores, superaceleradores e microscópios de tunelamento, biotecnologia e ecotecnologia. Resultados de C&T.

Estamos também às voltas com problemas complexos e interdisciplinares que nenhum filósofo ou cientista do século 19 poderia antecipar, mesmo os 'videntes'. São o 'buraco de ozônio', 'novos' vírus, mutações genéticas em agricultura, queimadas extensas, acidentes nucleares, gases letais lançados 'por acidente', poluição. Resultados de C&T.

Dos assuntos técnicos aos éticos deverá tratar a educação em CN, educação que encerra problemas complexos e seqüelas do elitismo em nossa formação social e cultural.

No próximo item passaremos a explicitar os desafios da educação brasileira atuais, identificando também que tipo de educação escolar queremos e almejamos.

1.4- EDUCAÇÃO E ENSINO DE C&T NO BRASIL

Inicialmente, a questão da dívida em quantidade.

"Somam 15 milhões os brasileiros, maiores de 10 anos de idade, que têm apenas três anos de instrução. Outros 20 milhões não têm qualquer instrução. Nossas escolas recebem 35 milhões de estudantes, dos quais apenas 3 milhões freqüentam o segundo grau e um milhão e meio alcança os cursos superiores."

(Editorial 'Democracia é Educação', in Ciência Hoje, vol.11, n. 62, março 90).

Tristes dados em pleno 1990! Se detalharmos comentários sobre esses dados, se acrescentarmos a participação do empreendimento privado na educação brasileira no segundo e terceiro graus (Freitag, 86); se não negligenciarmos a perversidade da conhecida 'pirâmide educacional' (Pimenta e Gonçalves, 1990), teremos que perguntar se faz algum sentido contemplar, pela investigação, o ensino crítico de CN frente a esse déficit quantitativo.

Contudo, *com esses dados e apesar deles*, procuramos encontrar espaço para discutir o ensino de CN e de Física, a inserção de C&T em nossa cultura. É difícil isolar, na crise permanente da educação brasileira, os aspectos estruturais de muitos dos conjunturais. De provisórios, insistem na permanência como as deficiências quantitativas de matrículas e a qualidade do ensino formal.

Nos moldes mais tradicionais, os poucos cientistas competitivos, que já mencionamos no item 1.3 deste capítulo, foram educados em Ciência, básica ou aplicada, e Tecnologia. Por razões diversas, como motivação, volição, esforço pessoal, pressão familiar, apoio de professores, conseguiram alcançar ganhos de conhecimento específico e profundo. Socialmente privilegiados, lograram sucesso. Estão nas universidades e institutos de pesquisa desenvolvendo sua atividade, apesar das condições difíceis, quando não adversas. Alguns se evadem, a maioria permanece e luta no país.

Contudo, nossa população não conseguiu atingir um conhecimento mínimo em C&T. Falamos da imensa maioria da população, incluída aquela que freqüenta escola e consegue um mínimo de escolaridade. São os milhões anteriormente evocados que não têm acesso à compreensão e instrumentalização do conhecimento básico em CN para seu exercício de cidadania. É decorrência de uma educação projetada estrategicamente para 'funcionar' e reproduzir o modelo capitalista periférico (Freitag, 1986). Concordando ou não, somos todos comprometidos com esse projeto, porque privilegiados.

A nível de segundo grau reconhecemos um esforço considerável no passado recente, com os projetos de ensino de CN, sejam estrangeiros que foram traduzidos, sejam nacionais. Porém, nos últimos 30 anos, pouco contribuíram para mudanças de postura e de visão dos docentes em sala de aula. O 'pouco' refere-se à perspectiva dos ganhos de C&T de inserção cultural. Prevalece o ensino pautado pelos livros didáticos mais adotados, resultantes de um aparente sucesso de roteiros e apostilas de 'cursinhos'. Zanetic coloca muito bem essa crítica (Zanetic, 1990). É a sombra, ou a 'espada de Dâmocles', projetada, via vestibular, pela universidade pública, ou pelas cursos 'superiores' da rede particular do terceiro grau (Freitag, 1986). No campo educacional tem ocorrido rica discussão sobre a natureza dual deste nível de escolaridade, sua qualidade duvidosa. Quantitativamente, ainda acessível a pequena parcela da população estudantil, da ordem de 3 milhões de alunos ¹³.

Os projetos de ensino e sua contribuição ou não para transformar a educação em CN no Brasil têm sido bastante estudados por colegas; não serão repetidos tais estudos aqui. Temos por exemplo as investigações de Vilanni (1988) e Zanetic (1990) e comungamos com as idéias expostas. Dissertações de mestrado do IFUSP/FEUSP também se dedicam ao problema, seja em conjunto seja focalizando algum dos projetos. Participei de estudos que localizam contribuições na área. Tais estudos estão divulgados para os professores de CN em escala, através de publicação acessível (Angotti & Delizoicov, 1991).

Não desistimos dos projetos. A massa crítica que já caracteriza os grupos de pesquisa em ensino de CN, sobretudo em ensino de Física, vem atuando em direções várias; uma das intervenções possíveis está na linha dos projetos comprometidos com a sala de aula.

Defendemos iniciativas que pressupõem o ensino de CN e de Física enquanto conhecimento cultural, para todos os alunos de primeiro e segundo graus. Mesmo no terceiro, as dimensões de formação da carreira podem e devem se acoplar às de ganhos culturais.

Defendemos iniciativas de ensino-aprendizagem que, com ou sem elaboração de novos projetos, possam contribuir para uma nova formação de professores da área. Professores considerados também como educadores.

Tais iniciativas precisam levar em conta tanto a qualidade do ensino como a quantidade dos alunos que deverão ter acesso ao conhecimento. Ou seja, preocupação com a escola pública, a massa dos estudantes que nela ingressam, da qual, infelizmente ainda, poucos são egressos em suas terminalidades.

Em outros cenários, de países avançados inclusive, são exercitadas alternativas de ensino. Acontece nos EUA, com a busca de conteúdos novos e significativos e intensa publicação voltada para os interesses de educação para a cidadania e permanente. Estas metas estão explícitas, enquanto política educacional em CN, no documento da 'American Association for the

'Advancement of Science', de 1989: 'Science for all Americans', coordenado por F. James Rutherford, um dos responsáveis pelo Projeto Harvard.

Projetos voltados para estudantes de outras áreas que não as de CN são valiosos, embora não conhecidos aqui. Por exemplo, o projeto do 'Reenslear Institute' - P.N.C.S.- Physical Science for Nonscience Students, vários autores (1971), com abordagem e seqüência inovadas, contendo conhecimento de Física e Química em conjunto em um mesmo projeto e texto. Um enfoque que não esvazia o saber, que não se pauta pela Física macroscópica e não enfatiza somente os aspectos materiais das transformações.

Na Holanda, o projeto 'PLON' vem inovando há mais de 10 anos o ensino de CN, pautado pelo viés temático, com tratamento sistematizado do conhecimento em Física tanto clássico como moderno (PLON, várias brochuras; Lijnse, P.L et alii, 1990). São tratadas tanto a construção de 'pontes e moinhos' como a 'interação entre radiação e matéria'. Temos tido algum contato com professores deste projeto e procurado divulgar os materiais produzidos, enquanto exemplos. Não é o caso de traduzi-los, talvez nem adaptá-los, uma vez que desenvolvidos para a sociedade holandesa. Essa tendência reforça iniciativas semelhantes no Brasil, sobretudo na USP, a exemplo do projeto GREF, que esperamos seja de ampla penetração junto às escolas de segundo grau (GREF, 1990).

Na Inglaterra, um novo currículo de CN começa a ser implantado nas escolas básicas. Está prevista uma atividade que vincula fortemente professores de centros de CN e educação universitárias com professores de primeiro nível de ensino (National Curriculum, 1989). Em particular, a tendência de abordar o ensino de CN a partir das relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) é forte atualmente nesse país (Solomon, 1983 e 1990, Ziman, 1990).

Em vários países verifica-se uma movimentação que procura estreitar os laços entre a pesquisa em ensino com o efetivo ensino de CN; parece que nós também precisamos encontrar caminhos nesta direção.

Não podemos comparar nossas dificuldades com a dos países citados. Esses já resolveram pelo menos seus problemas de acesso à escola e não convivem com os problemas que convivemos, por exemplo o do déficit quantitativo e o da evasão maciça. Também, o pequeno número de licenciados frente à demanda, uma conseqüência do desprestígio da carreira docente, são problemas nossos que precisam ser enfrentados ao lado dos aspectos qualitativos.

Insistimos que nossas dívidas no campo educacional não se comparam mesmo com países de Terceiro Mundo. Infelizmente, o segundo grau ainda não é realidade aqui, como é no Chile, Coréia do Sul e México, além dos vizinhos Argentina e Uruguai. Os dados recentes de comparação obtidos pela Fundação Carlos Chagas estão divulgados no jornal Folha de S. Paulo, de 29/04/90.

Ao contrapormos pretensões de incorporar C&T na cultura brasileira com esta realidade educacional perversa, verificamos condições da atualidade educacional que em nada contribuem com nossa pretensão. Até por isso, abrimos a discussão preocupados com a formação inicial em CN que acompanhe os *primeiros anos de escolaridade*.

A alfabetização científica tem também os seus direitos. Se a excluirmos ou mascararmos para tentar cobrir somente as carências do saber básico de língua portuguesa e aritmética, estaremos perpetuando uma defasagem histórica. Claro que existem prioridades na alfabetização, porém a busca para conceituações iniciais em CN são legítimas e sua conquista necessária. Trata-se de oferecer alternativa a essa busca que possa contribuir para a formação crítica dos cursos de magistério de segundo grau, trabalhar formação continuada em serviço desses professores e dos licenciados de 'curta duração'. Seqüencialmente, para os cursos de licenciatura e formação em serviço dos professores de Física, destacando seu parentesco com o escopo de Química e Biologia.

Nesta panorâmica inicial, intencionalmente abrimos um leque que varre os setores de Ciência, de Tecnologia e de Educação em CN, impregnadas por um conceito de cultura que incorpora as bases materiais da vida. Continuar com esse leque aberto poderá levar a uma tendência perigosa e estéril, que, de tão holística, pode resultar em contemplação e no vale-tudo panorâmico demais. É hora de usar o bisturi!

1.4.1- A ESCOLA E O ENSINO DE CIÊNCIAS QUE QUEREMOS

No processo de ensinar-aprender C&T - não confundido, em nossa concepção, com cientificismo e tecnicismo, nem mesmo com habilidades científicas e técnicas - há que se privilegiar o geral ou o específico, o universal ou o particular. Entre o ensino de CN para futuros cidadãos estudantes e profissionais da área e futuros homens cidadãos, há diferenças que implicam decisões sobre 'conteúdos e metodologias' a serem contemplados. Aqui, começamos a particularizar nossa atuação.

Ciência moderna, pós-Galileu, atingiu dimensões de generalização antes desconhecidas. Se os homens já haviam recolhido grandes realizações, as catedrais e os palácios, as navegações e descobertas do 'novo mundo', elas eram baseadas em técnicas descritivas e mesmo tímidas, comparadas aos resultados da ciência moderna (Rossi, 1989: 30/31). Se, durante a transição por ruptura da visão de mundo (na Renascença), já se admitia uma aliança entre os matemáticos e os artesãos mecânicos, depois, com a mecânica geral ancorada em teoria, algumas equações da Estática passam a justificar, num código elaborado, toda a sustentação de todos os edifícios. Mais

ainda, identificam na Cinemática e na Dinâmica todos os movimentos em queda na Terra com os movimentos de todos os corpos celestes.

A conhecida expressão de Koyré, usada em um de seus livros, ‘do mundo fechado ao universo infinito’, resume muito bem essa transição com ruptura. Sínteses semelhantes foram e continuam sendo conquistadas pelas teorias da Física e demais CN. Sínteses que superam um longo processo analítico, de recorte e fragmentação que caracteriza todo o empreendimento científico.

Por um lado, toda Ciência é analítica por definição, no sentido de dissecação de um objeto previamente identificado, recortado e demarcado. Tal concepção, mesmo consideradas novas epistemologias que questionam o empirismo e o indutivismo, permanece forte no espírito dos homens que trabalham CN. Prevalecem, talvez sejam hegemônicas também junto aos professores da área, cuja maioria não participa da pesquisa em CN. Porém a ciência atinge sínteses e traços universais, como no exemplo do surgimento da mecânica clássica. Essas novas consmovisões alteram profundamente as possibilidades humanas e apontam para novas intervenções, novas transformações da natureza.

Possibilidades que nem sempre resultam em desenvolvimento, sabemos. Entretanto é difícil, talvez impossível mesmo, negar que o conhecimento científico seja, dentre todos os disponíveis, o mais objetivo. Veremos adiante que o chamado ‘senso comum’ é também bastante objetivo, porém sem possibilidades de atingir novos caminhos, sobretudo aqueles que demandam rupturas com o passado.

De seu lado, a complementaridade entre síntese e análise não está presente no ensino de Física e de CN. Os recortes estão muito caracterizados, a ponto de impedir a simples reunião, nas estruturas mentais dos alunos, dos assuntos estudados em separado. Conseqüentemente, qualquer tentativa de síntese é inatingível para as grandes maiorias. Esta continuará a ser alcançada por alguns poucos, a duras penas. Dificilmente ocorrerá mudança no quadro atual, e C&T correrá cada vez mais à margem da cultura dos cidadãos. Existe um ‘senso comum pedagógico no ensino de CN’ que dificulta os saltos, os efetivos ganhos culturais. Essa discussão será aprofundada nesta tese, no capítulo 3.

Daí estarmos empenhados em discutir a contribuição do conhecimento apreendido na busca ou perseguição de totalidades, presentes sempre nas intenções dos homens de CN, apesar da propalada fragmentação. No momento, prevalecem no ensino de CN os fragmentos, os pedaços, as partes menores que os todos (sempre neste sentido euclidiano). Para as grandes maiorias, torna-se o conhecimento em C&T algo exótico, estranho e árido, não somente por essa razão, mas também por ela.

O sentido tecnológico do alcance de uma teoria seria traduzido por exemplo com a construção, em escalas apropriadas e ergométricas, de estruturas, mesmo catedrais com abóbadas ou desafios semelhantes. Na dinâmica, com a análise de órbitas e características dos satélites artificiais

estacionários. Há propostas neste sentido no projeto PLON, já citado. Temos também algumas sugestões no Brasil, em projetos e publicações (Caniato, 1975). Não dispomos contudo de espaço para discussão e viabilização dessas alternativas no segundo e terceiro graus, muito menos no primeiro. A publicação que fizemos (Angotti & Delizoicov, 1990) tenta romper barreiras fortes de informação junto aos professores. Quem sabe, aprenderemos a abrir um canal de comunicação com os professores e a utilizá-lo para transformações efetivas no ensino de CN.

Algumas questões que surgem com as nossas preocupações serão tratadas nos capítulos posteriores, em profundidade. Como contemplar o conhecimento de maneira a, mantendo o traço analítico em CN, priorizar também o da *síntese*?

Como extrapolar as experiências para outros campos, mesmo os próximos como Química, Biologia e Geologia?

Freqüentemente, não consideramos uma permanência relevante nas salas de aula. Os alunos, por um período letivo, são os mesmos, as 'mesmas cabeças'. Como professores das várias disciplinas, o conjunto docente, parece não respeitar esse dado. Da impossibilidade de se tratar problemas conjuntamente, holisticamente, não decorre a impossibilidade de estimular ganhos entre os distintos saberes, pelo menos entre aqueles que compõem disciplinas afins.

A reflexão sobre tais problemas, similares a questões que confrontem a extensão com a profundidade no conhecimento, suas conseqüências para as tomadas de decisão no processo de ensino de CN, localiza o conflito maior, que será investigado no próximo capítulo desta tese. Fragmentação versus totalização é o conflito que incorpora, numa dimensão ampla, tais questões. Sob esse título, procuro evitar um parâmetro filosófico ao estudo, que apontaria para a milenar 'querela dos universais'. Assim, o título já aponta para os parâmetros do conhecimento na área, em nível epistemológico e pedagógico.

Anterior ao início do desenvolvimento científico, ao tecnológico - como aqui discutido -, ao educacional moderno, este conflito nos aponta caminhos e alternativas que possam fornecer uma luz para os dilemas aqui lançados.

Tanto no terreno epistêmico como no educacional passaremos a tratar essa tensão, com o cuidado de não esquecer os problemas amplos, discutidos neste capítulo, referentes ao imperativo da inserção do conhecimento em CN à cultura brasileira.

1.5 - O PROBLEMA : FRAGMENTOS E TOTALIDADES NO ENSINO DE CIÊNCIAS

O título desta seção foi escolhido para se buscar maior ressonância com o campo da Ciência e do Ensino de Ciências. Enquadramos a discussão em parâmetros da área, evitando a aproximação excessiva com o milenar problema do 'universal e particular' do campo da filosofia. Limitações várias associadas ao recorte que delimita meu interesse não me estimulam a participar da discussão da 'querela dos universais', principalmente sob a égide da investigação filosófica¹⁴.

No recorte é focalizado um aspecto da tensão maior (universal versus particular), ou seja, o conflito entre a fragmentação - especialidade, profundidade - e a totalização - generalidade, extensão- na formação, pensamento e ação dos homens que trabalham com C&T e que a divulgam a todos os leitores potenciais, ao considerarmos esse conhecimento enquanto cultura.

Estão contemplados neste conflito, além dos citados nos parágrafos anteriores, tensões decorrentes, como: reducionismo e holismo, semelhança e diferença, unidade e diversidade, e mesmo matéria e forma.

Todas essas díades estão voltadas, na investigação que me proponho, para o conhecimento dos homens no seu espaço e no seu tempo. Isso implica a interação entre sujeito e objeto. Para fins de ensino-aprendizagem em C&T, interessa-me discutir também esta questão. Parto do pressuposto de que o conhecimento e seu avanço se dão na relação entre o sujeito epistêmico e o objeto recorte, ambos tomados e contemplados coletivamente.

O pressuposto elucida a negação pelas posturas tanto empiricistas (prevalência do objeto, supostamente neutro) como idealistas, incluídas as inatistas (prevalência do sujeito, dotado de estruturas a priori, biogenéticas). Baseio-me no referencial de Piaget e pensadores da Escola de Genebra que trabalham muito bem esse pressuposto a nível epistêmico (Piaget, 1971; Piaget & Garcia, 1989). Apesar de críticas a Piaget sobre a eventual prevalência que é creditada ao indivíduo, reconhecemos um avanço e um maior comprometimento com o social nos escritos mais recentes do autor e de seus colaboradores. Ademais, falamos do nível epistemológico, e não do psicológico, área de maior fragilidade ou exposição a críticas, desta escola, por outras. Um exemplo é a de psicólogos da escola soviética (Vigotsky, 1984).

Esclareço que o título elege a contraposição entre as partes e os todos, ao contrário de uma pré-opção por 'partes ou todo'. Esta distinção significa que admito simultaneamente múltiplas totalidades, resultantes dos empreendimentos de C&T, fragmentárias por excelência. Ao mesmo tempo, significa que respeito o grau inusitado e o desconhecimento, pelo menos até hoje, de uma suposta 'totalidade única' no universo da compreensão em Ciências.

Edgard Morin, que vem se dedicando a esse conflito com grande empenho, às vezes com estardalhaço, sempre pende para o privilégio das totalidades. Contudo, não se cansa em repetir a advertência de Adorno, que foi o primeiro a dizer que

"A totalidade é a não verdade."
(Adorno, apud Morin, sd: 98)

É o próprio Morin quem propõe a negativa da afirmação que toma, pois:

"A aspiração à totalidade é uma aspiração à verdade e o reconhecimento da impossibilidade da totalidade é uma verdade muito importante, ou seja, a totalidade é ao mesmo tempo a verdade e a não verdade".
(Morin, idem:98)

Ainda que concorde com essa leitura instigante, não tenho interesse em discutir o mérito da suposta existência de uma totalidade. Ao contrário, de totalidades e sua correlação com os processos de síntese em contraposição aos fragmentos e sua correlação com os processos analíticos.

Voltemos às dimensões do conhecimento na discussão do conflito entre Fragmentação e Totalidade (F&T). É creditado (ou debitado) ao sucesso da investigação científica e seu suposto método único, e conseqüentemente à Tecnologia e à industrialização maciça, um desvio perigoso dos métodos e processos educacionais que privilegiam as grandes questões e debates, característica do pensamento ocidental desde os gregos. Tal desvio elege a especialização a priori, os recortes de conteúdos de ensino que 'funcionem', que tenham breve retorno ao social e, principalmente, ao econômico. Essa opção vem se destacando ao longo deste século, calcada nos modelos deterministas e 'verdadeiros' das ciências naturais do século passado. Riscos da educação científica do passado e presente, que parecem ter efetivamente acabado por reforçar este desvio, alterando a rota do Homem ocidental. Primado da fragmentação.

Atualmente, uma perspectiva crítica e alvissareira se esboça em muitos centros de estudo de diversos países. Não raro, porém, desembocam em proposições excessivamente holísticas, que tentam associar com certa facilidade uma enorme gama de conhecimentos adquiridos que por princípio são resultantes do fragmentário, que aprofunda esses campos. Similarmente, tentam juntar distintos métodos de abordagem do 'real e da natureza', como a possibilidade de fusão dos pensamentos ocidental e oriental, até do religioso e científico.

Há excessos que apelam para unidades inatingíveis, pelo menos em tempos atuais, que desprezam a força e a profundidade que o homem conquistou com seus bisturis bem aplicados, ou seja, do próprio empreendimento das Ciências ¹⁵. Para nós, tais abordagens em busca de totalidades levam a uma sensação de completeza de conhecimento que é falsa e enganosa. A busca de unidades e sínteses passa sempre pela análise, simultaneamente pelos recortes. Uma 'nova

ciência' talvez possa vir a ser transdisciplinar, mais próxima da natureza. No entanto, essa nova ciência ainda precisa ser criada.

Não estou com essa advertência advogando as especializações prévias, os aprofundamentos precoces, sobretudo na escola fundamental.

As mais avançadas realizações com que contamos na área constituem teorias que partiram de seus objetos e os aprofundaram, dispondo de linguagem (linguagem matemática avançada incluída) e de lógicas sofisticadas. São as teorias da Relatividade- especial e geral- e da Física Quântica, de extensões únicas após profundidade máxima, de generalizações as mais universais no tempo e no espaço, após investigações precisas e pontuais.

A História da Ciência aponta para o aspecto salutar dessa dualidade entre F&T. O salto do século XVII, do 'mundo fechado ao universo infinito', é outro exemplo marcante de generalização sem precedente (ver itens 1.3 e 1.4). Para isso, um novo comportamento humano se instaurou, com instrumental sofisticado, apoiado na linguagem (linguagem matemática avançada para a época incluída) e da lógica formal (avançada e única disponível na época).

Os exemplos que tomo são da Física não apenas pela formação; é até certo ponto comum esse proceder pela grande maioria dos estudiosos desses problemas. Isto pela vanguarda que as teorias desta ciência mantêm; talvez daqui a 100 anos o centro das fontes de pesquisa será fornecido pela Biologia Contemporânea.

Outro exemplo que indica a relação complementar, 'dinamicamente epiclóide' ou dialética , entre F&T; uma nova vertente na investigação em Física e Química. Formulam-se amplas e novas questões sobre o par 'ordem-desordem', na complexidade dos fenômenos ainda não conhecidos com modelos apropriados. Trabalham-se novas equações ¹⁶ (diferenciais, não lineares), com auxílio de computadores potentes, e investiga-se a Física do Caos. Novas linguagens (linguagens da matemática incluídas), novas lógicas e novos conceitos como o de 'fractal'- formas invariantes quando de mudanças de escala. De onde vem a raiz desse termo? Alguma semelhança com fragmentação não é mera coincidência ¹⁷.

A busca de totalidades, a desejada interdisciplinaridade tão proclamada em nossos tempos não se dará, para minha compreensão, sem a participação de especialistas. Aqueles que aprofundaram seus campos de pesquisa, em teoria e/ou experiência, devem compor as equipes que investigam problemas complexos em níveis inter e transdisciplinares.

Não é o caso de reunir debatedores dos problemas complexos apenas pelo interesse; o requisito da especialidade, sem confundir com cientificismo estreito, é fundamental como ponto de partida. Ainda assim, não se revela fácil a prática de grupos interdisciplinares. Caracteriza-se por um espaço de lutas e conquistas bastante disputado, dadas as óticas distintas que as distintas formações dos especialistas determinaram. Essas óticas dirigem a observação dos especialistas mediante prismas de observação, parametrizando a 'objetividade de cada um'. As diferenças

enriquecem a discussão, novas aprendizagens se impõem ao longo da busca de solução dos problemas.

O reflexo deste conflito no vasto campo da educação será também aqui discutido, sempre sendo considerado o valor da complementaridade entre a extensão e a profundidade do conhecimento que se busca. Qualquer um dos elementos do conflito profundidade-extensão, quando assumido como altamente prioritário no processo educacional para a formação de cidadãos (ver itens 1.1 e 1.4), poderá ocasionar sensações de completeza, porém longe de assegurar apreensão de conhecimento, seja na especialização, seja na generalização.

O ensino de CN não vem acompanhando em tempos recentes a verdadeira dimensão do conflito, menos ainda a relevância do debate a nível epistemológico. Ao contrário, vem resistindo, com inércia incomum, a questões não consensuais; continua a pregar (no sentido preciso, dogmático) e 'praticar' o decantado 'método científico', que se sobrepõe a qualquer outro processo humano de abordagem, de investigação.

As idéias de Bacon, naquilo que encerram apenas em receituário, prevalecem depois de 300 anos, nos espaços escolares. Continua-se a privilegiar a fragmentação no seu sentido mais pobre, caricatural, que resulta em atomizações desarticuladas do saber. Priorizam-se as análises negligenciando-se as sínteses. Nas boas intenções da educação liberal as sínteses serão atingidas pelos estudantes na posteridade; quase nunca se verifica a concretização desta aposta.

A ciência, para a população de escolaridade básica, continua a ser um conhecimento exótico, apartado da cultura.

A essa situação nos opomos, individualmente e em grupo. Grupo que atua no ensino de CN, em particular o de Física. Na contrapartida, estarei voltado para formulações teóricas e práticas que, sem descartar os recortes nas investigações das CN e de C&T, priorizam sim a busca de unidades, as totalidades e as concepções amplas e relacionais. Nos capítulos 4 e 5 voltaremos a esta condição do ensino de CN, contrapondo-o às nossas proposições para sua transformação.

Não se ensina CN, nem Tecnologia. Trabalham-se bulas e glossários, formuletas, leis ou teorias fechadas. Seu domínio de validade é dos séculos XVIII e XIX, sua referência epistemológica e metodológica é a de Bacon, do XVII.

O conhecimento em CN, as relações complementares entre C&T, correm o risco de continuar na marginal das práticas sócio-culturais dos brasileiros, sem inserção cultural. As razões históricas já discutidas neste capítulo não serão removidas, mas uma ruptura se faz necessária para as perspectivas do porvir. Mesmo aqueles poucos que atingem séries finais do primeiro grau, os privilegiados que completam o segundo e, ainda, a maioria que se profissionaliza no terceiro, poderão continuar desprovidos das ferramentas que forjam a reflexão em C&T e sobre C&T, no seu enriquecimento e principalmente na sua criação/recriação.

O foco inicial que daremos ao conflito entre F&T será o epistêmico. Em seguida, o pedagógico.

NOTAS E REFERÊNCIAS I

- 1.- O conceito estrito de cultura é usado por Fernando de Azevedo em 'A Cultura Brasileira', S.Paulo, Melhoramentos, 1963. Ver Introdução: o autor considera o conceito antropológico mas decide-se por utilizar o restrito.
- 2.- Conceito usado por antropólogos, como Darcy Ribeiro e Roberto Damatta, por educadores como Paulo Freire, educadores franceses inclusive, como Snyders, em todos os escritos desses autores.
- 3.- Consultar, de Habermas, 'Técnica e Ciência enquanto Ideologia', in 'Benjamin, Habermas, Horkheimer, Adorno- Textos Escolhidos', S.Paulo, Abril, 1983, coleção 'Os Pensadores', pp. 313/343.
- 4.- Bachelard, G. 'Le Rationalisme Appliqué', Paris, Presses Universitaires de France, 1949. Consultar também 'O Novo Espírito Científico', Rio de Janeiro, Tempo Brasileiro, 1985.
- 5.- Conforme discutido por Gilberto Freire em 'Casa Grande e Senzala' Rio de Janeiro, Maia & Schmidt, 1934. Esta obstrução, pelo obscurantismo, está também discutida na referência 1.
- 6.- Sobre países com e sem tradição científica, relacionada com educação e contribuição ao desenvolvimento científico, consultar Kneller, G. 'A Ciência como Atividade Humana', SPaulo, Zahar/Edusp, 1980.
- 7.- Consultar, de Solla Price, 'Is technology historically independent of science?', in Technology and Culture, vol.6,n.4,1965. Consultar, de Bernal, 'Ciência na História', 7 vols. col. Movimento, Lisboa, Horizonte, 1969. Bernal sofreu influência de Boris Hessen; consultar deste autor 'The social and economic roots of Newton's *Principia*', in N. Buckharin, ed., Science and the Cross Roads, Cass, 1971, London. Existem escolas de tendências que vão aos extremos, tanto do chamado *externalismo* como do *internalismo*. O assunto é ainda objeto de estudos, a exemplo dos de Rossi - discutido nesse trabalho -, que defende posição mais próxima da de Hessen e de Bernal.
- 8.- O artigo é denso e profundo, teoricamente baseado em epistemólogos das CN, principalmente Khun, e das Ciências Sociais, principalmente Barnes (que extrapola as posições de Khun para *todas* as Ciências). Consultar, de Clark, 'Similarities and Differences Between Scientific and Technological Paradigms', in Futures, Feb.1987, 26, (17),pp.26-42.
- 9.- Um levantamento historiográfico exemplar, que se apóia bastante na história recente, consultas a periódicos, publicações clássicas e anais universitários, sobre a cultura brasileira, é encontrado em Mota, C. G. 'Ideologia da Cultura Brasileira', SPaulo, Edusp, 1990.
- 10.- Bernal, J. 'Ciência na História', Lisboa, Livros Horizonte, 1976, 7 vols. Contempla a evolução de C&T com referencial marxista. O outro texto citado, de Gama, R. 'História das Técnicas', SPaulo, Edusp, 1985 não correlaciona explicitamente o compromisso entre C&T. Seu valor é documental, com registros da evolução dos saberes técnicos no país.
- 11.- Rossi, P. 'O Filósofo e as Máquinas' SPaulo, Companhia das Letras, 1989. No capítulo 1, o autor explicita sua posição, aquela do compromisso entre C&T na História, a partir da Renascença.
- 12.- Rossi, P. (1989), citado em 11. Nas páginas 30 e 31, encontramos uma extensa listas desses manuais, datados dos séculos XV e XVI.

13.- Sobre matrículas, consultar Garrido e Gonçalves. 'Revendo o Ensino de Segundo Grau - Propondo a Formação de Professores', S.Paulo, Cortez, 1990. Sobre o déficit quantitativo, ver Editorial da Folha de S.Paulo, de 05/10/90, que contrapõe nossos índices com os de países de terceiro mundo, a partir de dados da UNESCO, de 1990.

14.- Consultar, sobre o conflito entre 'O Universal e o Particular' na perspectiva filófica: 'Great Books, Enciclopedia Britannica, in The Great Ideas - a Syntopicon', vol II, cap.96, pp 957/974. Uma bibliografia clássica está no final desta discussão.

15.- O próprio Morin nos parece representativo dessas tendências. Com obsessão, aborda assuntos que já são complexos quando tomados isoladamente. Ao tentar tomá-los conjuntamente, torna-se incompreensível, ou excessivamente holístico. Valoriza demais recentes estudos, que ainda estão em fase de discussão crítica, até quanto à validade, como é o caso da Etologia e da Autopoiese. Consultar também, do autor, 'Ciência e Consciência', Europa- América, Portugal, sd, e 'O Paradigma Perdido', Europa-América, Portugal, 1973.

16.- Todos os fenômenos analisados pelas amplas teorias da Física, incluídas a Relatividade e a Quântica, são tratados mediante soluções de equações diferenciais lineares. Isto significa que cada problema encerra várias soluções. Sendo linear, temos que a soma de duas soluções, por exemplo, é também uma solução do problema. A força da Física Linear é tamanha que se pode usá-la para enunciar, da forma mais 'resolvida', postulados vinculados à causalidade. Essa força está correlacionada com as correntes positivistas; consultar por exemplo: Linsdsay & Margenau, 'Foundations of Physics', New York, Dover, 1963. Isto não ocorre nos fenômenos 'complexos', onde a soma de soluções não constitui uma outra solução ao problema. Daí a 'não linearidade'. O tratamento dessas equações não lineares é possível hoje pelo auxílio de computadores de últimas gerações, de processadores múltiplos. Essa interdependência evidencia o compromisso entre ciência e tecnologia contemporâneas. A economia linear, que ainda insiste em desprezar variáveis que são determinantes, é resultante deste sucesso inicial da Física.

17.- A expressão '*fractal*' foi cunhada por Mandelbrot em 1975, a partir de '*fractus*', adjetivo derivado do verbo '*frangere*' (quebrar, fraturar). De seu lado, o termo '*fragmentação*' tem raiz em '*fragmentus*' (fracionado, quebrado). Consultar, para uma visão geral desse novo campo de pesquisa 'Fractal Growth Process', in *Nature*, 322, n.86, pp. 789-793; um questionamento oportuno e interessante sobre eventuais exageros dos adeptos desta linha está em: Kadanoff L. 'Fractal: Where is the Physics?', in *Physics Today*, 39 (2), feb/86; A discussão continua, no comentário inicial do número (4), do mesmo volume - 39 - de *Physics Today*, ap./86. Consultar, em português, o título 'Caos', de Gleick, J., Rio de Janeiro, Campus, 1990, especialmente cap. 4 - Uma geometria da Natureza, pp. 79/120. Esta é uma obra bem fundamentada de divulgação que, apesar de alguns excessos de entusiasmo, fornece um quadro atual dessa nova área de saber científico.

CAPÍTULO 2 - FRAGMENTOS E TOTALIDADES NO ENSINO DE CIÊNCIAS - DOMÍNIO EPISTEMOLÓGICO

2.1- PRESSUPOSTOS E CRITÉRIOS TEÓRICOS

Os autores escolhidos para discussão e apoio teórico são, neste primeiro foco, pesquisadores com formação e contribuição em CN, particularmente Física e Química. São também contemporâneos, consideram a tensão em destaque (F&T) com muita relevância e extravasam de seus campos mais 'restritos' para outros mais complexos.

Nestas incursões, estes teóricos utilizam as categorias da racionalidade, da historicidade e da interdisciplinaridade. Chegam a participar de discussões sobre as premissas determinantes que forjaram os homens do ocidente por um lado e do oriente, por outro. Entretanto, relativizam as culturas, sem pretender imposições de uma sobre a outra.

Também, não são ortodoxos em suas análises. Posicionam-se quanto à Filosofia da Ciência muito distantes dos paradigmas mecanicistas, da satisfação em praticar a 'Ciência Normal' concebida por Khun ¹. Conhecem profundamente as teorias mais avançadas e atuais, mas não se resignam frente às potencialidades dessas mesmas teorias; apontam suas limitações e declaram-se não totalmente satisfeitos com elas.

É compreensível, quase 'natural' que, neste critério, o da não ortodoxia, do 'externalismo' ou do lado 'dionisíaco', assumido em suas concepções, não sejam muito aceitos pela maioria de seus pares, aqueles interessados apenas na 'ciência normal' concebida mais estreitamente, apenas em C&T de resultados. Em poucas palavras, são aceitos enquanto cientistas, não enquanto epistemólogos ou filósofos da Ciência.

Investigam questões complexas, de interesse no social, sem contudo tentarem buscar um novo iluminismo, lastreado por uma nova Ciência da Natureza, como, em nossa compreensão, parece fazer Fritjof Capra. Este, com seus livros instigantes, não se enquadra em nosso segundo critério por excesso de otimismo e de 'transparência'. Escreve bem e bonito, é profundo e desafiante e tem o grande mérito de divulgar aspectos não ortodoxos para muitos leitores brasileiros não especializados em Física. Mas transcende nossos critérios, se entusiasma demais com novas possibilidades da nova Física que serviria como matriz de reflexão para as demais ciências. Já vimos esse filme rodado na História, protagonizado pela Física Clássica como uma das principais atrizes.

Ainda, pelo primeiro critério, não nos apoiamos nos escritos de Edgar Morin (consultar item 1.5 do cap. 1), outro autor que começa a penetrar o pensamento brasileiro. Pela sua formação, e também pelos seus excessos na direção de grandes 'totalizações', me parece forçar o estágio atual das discussões sobre o conflito entre F&T.

Os autores fundamentais que aprofundaremos são respectivamente Arthur Eddington, David Bohm e Ilya Prigogine.

Ao final desta abordagem epistêmica do conflito, para um necessário distanciamento das proposições dos autores principais em que nos baseamos, utilizarei o modelo proposto por um outro epistemólogo, Gerald Holton. Esse modelo incorpora no processo de investigação e evolução em CN possibilidades não totalmente racionalistas, seja no contexto da descoberta, seja no da justificação. Neste modelo, encontramos espaço para discutir os elementos pouco ortodoxos no processo de criação, aquele das dimensões 'não científicas' ou 'metafísicas', adjetivos presentes quando o processo de criação é submetido à leitura ortodoxa.

As diferenças entre esses pesquisadores, ainda que sutis, serão apontadas, evitando-se o excesso de consenso.

Um argumento ou hipótese sobre os pontos de vista e as tomadas de posição dos autores a respeito dos múltiplos aspectos da tensão entre F&T será lançado neste momento, anteriormente à explicitação de suas idéias:

- o ambiente sócio-cultural onde o pesquisador começou sua educação, aliado à sua formação profissional, seus trabalhos originais, seu campo de maior contribuição, não serão determinantes para suas posições atuais, mesmo sendo heterodoxas?

Para debatermos essa questão-hipótese, tomaremos como exemplo as posições de três cientistas-filósofos, com formação inicial em Física, Química e Biologia respectivamente. Retomaremos a questão posteriormente.

2.2- MATÉRIA E CONSCIÊNCIA

*"Quis custodiet ipsos custodes?" **

(Eddington)

Cientistas observam, praticam e transformam seus objetos de conhecimento; professores de CN observam, praticam e muito raramente transformam seu conhecimento, porque é 'mais simples' transmiti-lo do que tentar reconstruí-lo ou recriá-lo.

Alguém ou preferencialmente alguns deverão observar esses profissionais. Quem os observa são os *epistemólogos*, na resposta do próprio Eddington, pois

"ele (o epistemólogo) os observa para dar-se conta do que realmente observam, que em geral é diferente do que eles dizem que ~~diferente do que eles dizem~~ que observam".

(Eddington, 'La Filosofía de la Ciencia Física', Buenos Aires, Sulamericana, 1946: 38, tradução minha)

A desconfiança, talvez a certeza da necessidade desse perfil crítico, era quase consensual já na década de 30. Isto logo após os impactos provocados até na filosofia pelos resultados da nova teoria quântica, por Heisenberg em 1925 e Schrodinger em 1926. A teoria da Relatividade Geral (Einstein, 1915) também contribuiu para essa necessidade.

Um resultado de alcance amplo e perturbador provocado por uma teoria não fica restrito à esfera do seu conhecimento. Atinge outros. A transição, para o terreno da reflexão epistemológica, de pesquisadores que antes eram 'somente cientistas' foi um imperativo dessa época. O autor que destacamos é um dos exemplos, acompanhado por Bhor, Pauli, Heisenberg, Einstein e outros. Todos foram, em maior ou menor intensidade, compelidos a

"reconhecer, ainda que formalmente, uma distinção entre a ciência, que trata do conteúdo do conhecimento, e a epistemologia científica, que estuda a natureza do conhecimento do universo físico."

(Eddington, 1946: 19)

* "Quem observa os observadores?"

O conhecimento do universo, que antes dessas teorias era fortemente demarcado pela Física, foi expandido rapidamente, na verdade transbordado, para o da Química, da Biologia, com as conseqüentes revoluções científicas dessas áreas, respectivamente a Cinética Química e a Biologia Molecular.

Foi uma época bastante singular. Um mesmo grupo estava envolvido com as descobertas e também com as reflexões, tanto com os produtos, quanto com os processos de suas investigações. Ainda, como a época já contava com uma boa infra-estrutura de comunicação, que estimulava contatos rápidos e divulgação veloz, tais estudos avançaram e foram aprofundados rapidamente. Denominarei esta 'simultaneidade' de 'epistemologia sincrônica'.

Daquela época até hoje, presenciamos grande aceleração da História, porém o clima propício para manutenção da epistemologia sincrônica parece não ter sido mantido, sobretudo nos anos posteriores à década de 50. Talvez tenha ocorrido mais uma vitória da C&T que clama pelos produtos de êxito, de resultados imediatos.

Nos campos da Filosofia e História da Ciência, temos escritos de quase todos os pesquisadores sobre os acontecimentos do século XVII na Europa. Sejam de caráter internalista ou externalista, consensuais ou conflitivos, constituem sempre ricas interpretações de legados. Obviamente os estudos são efetivados na ausência dos protagonistas, daqueles que detonaram o processo, caracterizando 'epistemologias diacrônicas'. Dessa situação a 'epistemologia sincrônica' se diferencia.

Ao lermos originais de Newton não tão divulgados, como a 'Questão 31', sua polêmica com Leibnitz sobre as origens do cálculo diferencial, contribuições de Huygens sobre Ondulatória, detectamos também, em pleno século XVII, requisitos para a epistemologia sincrônica ².

Uma indagação que me parece boa é :

Não serão as revoluções científicas um requisito 'contemporâneo' para as 'epistemologias sincrônicas'? Refiro-me às condições de comunicação de cada época. Em particular penso na velocidade de divulgação e à avidez com que jornalistas e divulgadores trabalham atualmente(até com estardalhaço), diante de novas possibilidades de descobertas científicas.

Um exemplo desconcertante: os episódios recentes sobre a provável-improvável 'fusão nuclear a frio' parecem confirmar essa correlação ³.

Assim, se essa correlação especulativa, ou hipótese (na linguagem mais comum), tem algum sentido, no futuro que esperamos breve, teremos oportunidade de verificá-la, por ocasião de nova(s) abertura(s) de fronteira do conhecimento.

Repetimos que o sucedido na década de 30 e que se estendeu até a de 50, não persistiu. Claro que uma guerra mundial se apresentou neste intervalo, seguida de um período caracterizado por outra guerra, a 'fria'. Certamente esses conflitos contribuíram a favor dos 'resultados'. Porém, não

podemos descartar a tendência de terem sido tomadas (as novas teorias revolucionárias) como definitivas.

Aquela dimensão da 'natureza do conhecimento' parece ter sido progressivamente abandonada pela comunidade científica contemporânea. Este é um dos resultados da educação científica, pelo menos a profissional-especializada. Paradoxalmente, muitos profissionais críticos absorveram esta necessidade, a de se contemplar processos simultaneamente a produtos. A maioria deles, porém, está distante dos efetivos problemas de pesquisa. Esse é um dos motivos que me auxiliou para a adoção de critérios ao escolher os autores.

Eddington defendia a proximidade da Episteme com a 'ciência mesma', uma vez que na época, para se desenvolver as teorias sobre radiação e matéria, era imprescindível uma concepção epistemológica definida, sendo esta a fonte direta dos progressos mais significativos. É gratificante esta leitura, elaborada por um pesquisador fortemente apoiado nos procedimentos experimentais. Eddington é considerado pela comunidade, dentre outras contribuições, por ter confirmado as previsões da teoria da Relatividade Geral⁴.

David Bohm, protagonista mais rebelde (e mais jovem) que os pioneiros, afirma que atualmente os físicos não têm maiores interesses sobre seus estudos. Lamenta que o ensino da Física (para os especialistas)

"decaiu muito e foi se tornando cada vez mais dogmático e mecânico; que o atual formalismo quântico foi ensinado como verdade absoluta e muitos estudantes não podem conceber nada mais."
(Bohm, in Weber, R., 1986:129)

Na compreensão do conhecimento que se busca, o pesquisador pioneiro incorpora os aspectos subjetivos associados ao universo descrito pelas ciências físicas. O conhecimento

"é parcialmente subjetivo, ainda que historicamente o caminho tenha sido outro."
(Eddington, 1946:44)

O confronto com a antiga crença na objetividade do conhecimento em Física e em CN aflorou com os resultados das novas teorias, distintas em qualidade das anteriores, da Física Clássica. Apelando para o seu 'subjetivismo seletivo', embora considerando objetivo o material com o qual se procede à escolha, o autor esclarece o quanto de aprendizado extraiu de seus estudos e da busca da compreensão destes, na afirmação:

" A teoria moderna, quântica, consiste em vincular, mediante equações, nosso conhecimento das posições, movimentos, etc. das partículas num dado instante, com o nosso conhecimento das posições, movimentos, etc. das mesmas partículas em instante posterior ao primeiro. A concepção clássica da Física macroscópica consiste em encontrar sistemas de equações que vinculassem posições... das partículas em um instante, com posições... destas mesmas partículas num instante posterior ao primeiro."
(Eddington, 1946 :76)

Toda essa distinção fundamental não é devidamente discutida no ensino-aprendizagem atual de Física Moderna, não faz presença nos livros-textos com a merecida relevância. Como resultado, temos as limitações a que Bohm se refere, um novo dogmatismo.

Ora, não será este também um dos problemas da Educação em CN? Critica-se muito o ensino dogmático da Física Clássica, associado ao dogmatismo de suas teorias. Entretanto, critica-se pouco o mesmo ensino dogmático, para as teorias revolucionárias. A relação entre ensino de Física e conhecimento em Física neste segundo caso é muito mais dissonante, assimétrica, contraditória enfim.

Problemas do ensino de CN estão presentes desde o primeiro grau até os níveis mais avançados da pós-graduação, etapa que seleciona e credencia novos participantes dos programas de pesquisa.

Perguntamos, como Eddington fez em relação aos observadores-cientistas:

- Quem forma os formadores ?
- Quem treina os treinadores ?

Respondemos, seguramente, que não tem sido o cientista-epistemólogo, nem o professor-crítico, muito menos o instrutor-consciente.

Os ganhos culturais em C&T para a população de baixa escolaridade, ou de não especialistas, são filtrados, até impedidos, quando a própria formação dos formadores(de profissionais e também de opinião, pois são esses que escrevem , que divulgam) é pautada somente por um parâmetro, ainda que seja esse o mais 'produtivo'.

Um outro aspecto não dissociado do problema Ciência-Epistemologia é o que se refere ao destronamento da matéria, o conceito milenar fundamental para a Física. Eddington revela perplexidade com a situação nova, revolucionária, de seu tempo. Foi um dos primeiros a retomar a eventual relação entre matéria e consciência neste século. Afirma:

" A física não se contenta com observações puras e/ou diretas. O conceito de matéria desapareceu dos fundamentos da física e em última análise chegamos a formas: Ondas, ondas, ondas ! Na relatividade encontramos curvatura! A energia, uma vez que se conserva, poderia ser considerada como a sucessora atual da matéria."
(Eddington, 1946: 157)

A diferença fundamental entre as duas noções-a prevalência da matéria versus a da forma/energia - aponta para um forte argumento para se criticar tanto o que se ensina como o

que não se ensina, nos diferentes níveis de escolaridade, em CN. Alguns conteúdos, tópicos, relações e conceitos estão sempre presentes; alguns outros, quase sempre ausentes. Usaremos esse argumento nos capítulos 4 a 6, principalmente no último.

No confronto entre as duas noções, temos que

" a matéria (é possível reter essa noção, como conceito físico) deve ter oferecido alguma resistência ao observador, mas a forma se modifica segundo o desejo do observador."

(Eddington, idem: 157)

A citação remete ao questionamento do imperativo do objeto, aprisionado pela composição atomística dos processos de fragmentação, dos gregos aos empiristas. O objeto resiste ao observador (como afirma Piaget, é um limite), porém sua concepção muito rígida, massiva/sólida que usualmente se impõe, passa a se diluir, a se travestir. Quando o objeto é observado, ele não é o mesmo; segundo várias teorias deste século, não só da Física, ao se tornar mais fluido ele perde um pouco sua rigidez/dureza/solidez. Sabemos hoje, somente pela Física, que todo material contém, microscopicamente, enormes vazios, que nesta dimensão as 'partículas' se comportam dualisticamente, ora como tais, ora como ondas/formas.

Apenas esta revelação, se esclarecida com debates (conflituosos, pela sua natureza) nos bancos de formação de professores de CN, muito ajudaria a solapar aquele dogmatismo do receituário baconiano já comentado. Ajudaria também os estudantes a transitar dos moldes da objetividade, da neutralidade do objeto e mesmo dos modelos ingênuos de Ciência, para a relacional, interativa, entre o sujeito e o objeto de conhecimento, para a Ciência histórica e socialmente determinada.

Entretanto, essa revelação, dentre outras, não consegue passar nas malhas da rede que censura o conhecimento para a educação em CN.

Normalmente, nos submetemos ainda à permanência ou semipermanência do objeto resistente. Ela determina a cosmovisão das grandes majorias, os 'tijolinhos' da matéria, O modelo atômico clássico e seu reflexo no real macroscópico, imediato e próximo, as 'coisas reais' que têm massa, que podem ser colocadas nas balanças, caracterizam o mundo.

Em contrapartida, fótons, neutrinos, supercordas, fônons, essas 'invenções etéreas dos cientistas', continuam ausentes do conhecimento das majorias, do 'consciente coletivo'. Se essa deficiência se faz presente em todas as sociedades, é evidente que nos países dependentes, de passado colonizado como o nosso, ela é muito mais intensa. Para mim, uma das dívidas do ensino de Física e de CN.

A matéria foi destronada pelas novas teorias, na pesquisa e no campo epistêmico, mas ainda reina soberba no ensino de Ciências.

Na comparação entre o Físico e o artista, afirma Eddington que o primeiro não é tão livre, pois joga dentro de regras mais definidas. Contudo o pesquisador pode até violar um tanto as regras, por exemplo postulando a existência de neutrinos (partículas desprovidas de massa, mais tarde confirmadas) para salvar sua teoria. É a característica do voo, da criação que tem limites menos nítidos, a liberdade maior do contexto da descoberta.

Por trás destas comparações, que até a época (anos 30) seriam consideradas inusitadas demais, está a compreensão relativizada do método analítico (dos recortes) em CN. Está a relação, agora com maior compromisso, do conjunto das partes com o todo. Assim, Eddington ressaltava que sempre se referia a um conjunto de partes e não a uma parte isolada (está na obra em discussão, p. 167). Já era tempo de se tomar cuidado com o processo indutivo levado às últimas consequências, aquele que separa uma parte do conjunto, incluído o observador. Claro que a tensão entre F&T se apresenta agora com novos dados, novos achados.

Nos processos analíticos, esta clareza surgiu somente em tempos recentes. Passa-se a diferenciar a análise da matéria (resultante dos processos mentais ou experimentais de divisão atômica das partes), de outro, que consiste na análise das formas, ou seja, não pautada pelas coisas materiais. Sobre essa diferenciação, o autor declara que

"o sistema de análise está limitado àqueles que originam um conjunto completo de partes positivas(materiais); quando a análise está associada à ondulatória, não se pode impor a restrição citada. Na óptica, o escuro pode ser obtido por duas ondas luminosas que se interferem e, portanto, a luz pode ser uma parte do escuro."
(Eddington, 1946: 177)

O fenômeno de interferência luminosa, utilizado como exemplar na citação acima, é do domínio da Física Clássica ainda. É intrigante, porque suscita preferências espaciais da luz-energia em sua trajetória (regiões claras e escuras). O fenômeno é explicável pelo modelo clássico ondulatório.

Ora, se para Gilberto Gil, para quem as regras do jogo são mais abertas, pois artista 'a luz nasce na escuridão', se para os filósofos-iluminados, 'a luz não suporta as trevas', para os físicos, pelas regras da interferência, em algumas regiões do espaço 'a luz morre na escuridão !'.

Os físicos admitem (ou pensam, ou pelo menos detêm com uma ferramenta reflexiva, nem sempre consciente) tais possibilidades também no macroscópico material. Por exemplo, sabem que 'um barril é definido pela sua casca naquela forma, (somente naquela) que encerra um vazio, um oco, maior do que o contorno'. Na Física Moderna, o exemplo mais drástico desse 'extremum' analítico é o conceito de *pósitron*, o negativo, o escuro, o vazio do *elétron*. Diante da limitação da análise material, mesmo considerando os exemplos topológicos do tipo 'barril', a idéia de pósitron jamais nascerá, como Eddington comenta.

Mesmo ao considerarmos somente a análise material, afirmo que não posso concordar com a maneira como é passada nos bancos escolares. Conceitualmente, pela análise democritiana, chegamos às 'partículas fundamentais'. Apenas para a Física prevalece o princípio da identidade, ou seja, todas as partículas são idênticas. Para o escopo da Química, temos unidades não idênticas, pois átomos, conforme os modelos atuais, são dificilmente idênticos; para a Biologia, as unidades celulares são ainda muito menos idênticas. A somatória das partes nestes exemplos corresponde às totalidades? Uma álgebra de classes suporta essa questão e fornece respostas outras que a álgebra elementar.

Como observado há mais de 50 anos por um psicólogo, o todo Hidrogênio mais o todo Oxigênio são diferentes do todo Água (Vygotsky, 1987). Aqui temos um bom exemplo didático que muito bem ilustra ser o todo mais do que a soma das partes. Portanto, precisamos também oxigenar o conceito de análise na dimensão material, tornar mais claras as regras deste jogo. Esta opção pela transparência poderá beneficiar o ensino de CN em todos os níveis de escolaridade.

A potência dos processos de fragmentação característicos do empreendimento de C&T corre sempre o risco de ser caricaturada quando trabalhada pedagogicamente. Parece mesmo que somos presos à permanência, à conservação. A história dos homens, da ciência e também da infância vem confirmando essa tendência humana (Piaget & Inhelder, 1975). Outros a detectaram, afirmando:

"Desde os primórdios desenvolveu-se um sistema sensorial elaborado, de tal modo que nos apresenta, em forma vivida, um mundo que se adapta à exigência mental de permanência."

(Eddington, idem: 185.grifo meu)

O autor se inclina a localizar a raiz mais profunda das formas de pensamento, derivadas do aparato sensorial, enquanto definitivamente mental. Trata-se, para ele, de predisposições inseparáveis da *consciência*.

Na época, Eddington já apontava para a contraposição entre as construções mentais e as disposições inatas, tão combatidas por Piaget. Notemos entretanto que ele insiste no desenvolvimento de um sistema sensorial, no crédito ao subjetivismo seletivo.

Claro que falamos dos estádios do pensamento formal e das abstrações reflexivas (em linguagem piagetiana), porém mesmo em estádios anteriores, em toda ação está embutida uma intelectualização, pois ação interativa e intencional, não robotizada.

O sofisticado da contribuição do autor é uma abertura para o conhecimento construído e estruturado a partir do saber avançado de seu tempo. Afirma que a ciência física está formada por modelos estruturais, que só conhecemos a estrutura do universo descrito por ela. O conceito de estrutura aqui é a abstração ligada aos 'grupos' da Matemática. Sobre essa argumentação, consultar a obra citada (Eddington, 1946), nos capítulos IX e X.

O que mais ficou associado ao pensamento de Eddington é sua expressão da 'consciência enquanto estofo mental'. Essa pista iluminou novos pesquisadores que passaram a questionar mais a neutralidade e a objetividade pura do empreendimento científico. Eddington é radical nessa proposição, tendo incorporado as formas/ondas e curvaturas sem ter se convertido ao misticismo. Escreveu:

"Consideremos as raízes comuns de conhecimento científico e de todos os demais conhecimentos. O único material de estudo que se me apresenta é o conteúdo de minha consciência."
(Eddington, 1946: 267)

Para além da consciência individual, extrapola para um domínio externo, de ressonância, pois:

"Ao reconhecer a existência de outras consciências equivalentes às nossas próprias, somos obrigados a aceitar a existência de um domínio fora das consciências individuais."
(Eddington, idem: 287)

A prevalência do pensamento sobre a linguagem, também de acordo com Piaget, principalmente o Piaget daquela época, é igualmente um traço desse autor, que considerava ser a expressão verbal um indicador que assinala para o conhecimento mas que dele não faz parte.

Essa dicotomia é de difícil sustentação atualmente, depois das contribuições de autores como Vygotsky (1987) e Bernstein (1971), que correlacionam fortemente o papel complementar entre linguagem e pensamento, sem aprisionar aquela aos moldes deste. David Bohm, que passaremos a discutir e que sofreu influência de Eddington, também se preocupa com o papel da linguagem em nosso pensar, tendo chegado a propor um novo código, mais dinâmico e aberto a transformações para a linguagem dos homens do ocidente.

Nesta dinâmica de pensar e de ler o mundo com nossos modelos, Eddington foi pioneiro. Declara-se um evolucionário e não um 'multiplicionário'. Com publicações singulares sobre a evolução do universo, a degradação da energia e o crescimento da entropia, abriu caminhos para as questões instigantes de Bohm e de Prigogine, que passaremos a discutir. Com sua expressão hoje universal da 'seta do tempo', deflagrou um processo para alguns se contraporem às visões estáticas do mundo, ao tempo reversível de Newton, à Termodinâmica dos processos próximos ao equilíbrio, mesmo dentre os cientistas.

A condição de astrônomo de ponta, de físico experimental, levou Eddington a se dedicar aos estudos evolucionários do universo, com destaque para o conceito de tempo e sua relação com as grandezas energia e entropia ⁵.

A relação difícil mas sempre presente, mesmo implicitamente, entre fragmentações e totalizações está nos comentários e citações de Eddington, nas contraposições entre análise e

síntese, linearidade e estruturação, evolução e 'multiplicação'. Sobretudo no embate entre matéria e consciência.

No trabalho de David Bohm, constatamos uma efetiva explicitação do conflito, uma clareza e determinação maiores, que passaremos a destacar.

2.3- ORDEM EXPLÍCITA E ORDENS IMPLÍCITAS

David Bohm parte do princípio de que a abordagem fragmentária do mundo estimula o homem a atuar nessa direção, a de 'tentar quebrar ele próprio o mundo', de maneira a tudo parecer um reflexo, uma correspondência dessa maneira de pensar. Em contrapartida, afirma:

" Na verdade, o homem sempre esteve procurando totalidades, no plano mental, físico, social e individual."

(Bohm, D. 'Wholeness and the Implicate Order', Routledge & Kegan, Paul - London, 1980: 03, tradução minha)

Mantido o princípio acima como 'certa tendência humana de busca'- o que é muitas vezes defendido por outros autores (ver item 2.5 deste capítulo), o conflito com o procedimento fragmentário-analítico, fundamental para as CN, mesmo para outras Ciências e para a Tecnologia, está sempre colocado, ainda que de forma sutil e dissimulada. A revolução que o pensamento científico imprimiu nas sociedades é de uma ruptura sem precedentes, de convivência não fácil com aquela 'tendência humana'.

Um dos perigos que a prática fragmentária acarreta, no pensamento do autor, é a confusão entre *aquilo que parece ser com o que é*, muito comum até entre os profissionais com formação em C&T. Para ele,

"... fragmentação está sempre presente, pelo hábito quase universal de tomarmos o conteúdo de nosso pensamento por uma descrição do mundo como ele é."
(Bohm, 1980: 03)

O cuidado epistemológico considerado por Eddington é levado muito a sério por Bohm. Este critica a prática de se fazer ciência sem a (necessária) busca da compreensão simultânea ao conhecimento que se busca.

A fusão, ou pelo menos o imbricamento entre matéria e consciência é quase uma evidência para Bohm. Esta condição-limite do pensamento holístico, este obstáculo epistemológico será cada vez mais enfrentado na seqüência que daremos sobre o conflito entre F&T.

Evocando as 'categorias do pensamento' inicialmente propostas por Kant, Bohm reforça que tais categorias, enquanto formas gerais de 'insights', são espécies de teorias. A palavra 'teoria'-origem do grego (theoria) - tem a mesma raiz da palavra 'teatro'. *Qualquer teoria então caracteriza formas de pensamento, maneiras de olhar o mundo e de representá-lo, ao contrário de uma revelação de como é o mundo.*

A interação do sujeito com o objeto, no enfrentamento do homem com o real, é um pressuposto do autor. Para ele, experiência e conhecimento coexistem num único processo; este não pode ser caracterizado independentemente daquela.

Esta opção deixa clara a não dicotomia entre o sujeito cognoscente/epistêmico e o objeto cognoscível, contemplados coletivamente. Ela se contrapõe à vertente lógico-empirista, ainda muito marcante junto às maiorias que lecionam CN, mesmo quando algumas inovações propostas são incorporadas. A 'Ciência da Escola' parece ainda não ter se dado conta desta diferença.

Dada a prioridade que Bohm assume para os aspectos das totalidades, de seu conceito de 'teoria' enquanto representação ou modelo, a

"importância das novas teorias da Física Moderna, que, por contemplarem a natureza universal da matéria que constitui tudo, o espaço e o tempo onde todo o movimento da matéria é descrito"
(Bohm, 1980: 10)

é decisiva, porque são as teorias mais generalizadas. Contudo não são definitivamente verdadeiras; Bohm é dos pensadores mais críticos em relação a elas, principalmente à teoria quântica.

Em contraposição ao atomismo, que favorece a cristalização do pensamento fragmentário, Bohm argumenta que são preferíveis, para alguém que olha seu mundo como uma sucessão interminável de fluxos e processos, aquelas teorias mais recentes. Adepto dos mais radicais ao pensamento de Heráclito e combatendo a hegemonia do pensamento de Demócrito, o autor em destaque alerta que

"observador e observado fazem parte de uma só realidade que é indivisível e não analisável de acordo com a Física Quântica (...); na Relatividade, o postulado do limite da velocidade da luz líquida com o conceito de corpo rígido, um conceito crucial para a teoria atômica."
(Bohm, 1980: 09)

Como as teorias atômicas são mais limitadas e o universo das teorias do século XX requisitam que o mundo indivisível seja considerado, Bohm propõe modelos de 'tubos ou vórtices' onde a matéria está impregnada por mútuas influências num fluxo universal, não dissociada da

consciência. Aqui temos um avanço em relação às proposições mais implícitas de Eddington. Quando se refere à 'matéria', Bohm não está restrito ao conceito clássico, de solidez/permanência.

Ainda com relação aos legados dos gregos, dentre as fontes indicadas por Aristóteles no problema da causalidade (material, eficiente, formal e final), Bohm estabelece associação entre a causa formal, por ele chamada de *formativa*, e a final.

Ele assume o forte componente teleológico em sua reflexão e dá enorme importância aos aspectos 'formativos', conseqüentemente à análise não material, ou ondulatória, dos campos e funções, de Eddington (consultar item 2.2 deste capítulo).

A causa final para ele não é somente algo que pode estar relacionado a Deus, ao 'design'. Pode estar comprometida com algo interno, implícito, não percebido de forma consciente. É a busca de fundamentação para postular a sua 'ordem implícita', proposição-chave em suas teorias.

Como que adiantando a reação negativa de seus críticos, dada a característica pouco ortodoxa de seus argumentos, o autor, muito respeitado pelos pares enquanto físico⁶, alerta:

"A tendência fragmentária é tão enraizada e 'natural' que, mesmo com as novas evidências da Relatividade e da Física Quântica, a regra é ignorar ou minimizar as reflexões distintas."
(Bohm, 1980: 15)

Reflexão bastante distinta, que por isso mesmo encontra forte resistência na comunidade. Brockmann(1989) lembra que, em particular, a reflexão de Bohm parece penetrar bastante junto a jovens cientistas. Talvez por estarem menos presos a paradigmas procurem alternativas, ao contrário daqueles que já optaram pelos seus paradigmas. Persistindo contra o valor excessivo das teorias de natureza atomística, o autor assinala:

"A totalidade é que é real, a fragmentação é a resposta desta totalidade à ação humana, guiada pela percepção ilusória que é formatada pelo pensamento fragmentário."
(Bohm, idem: 06)

É interessante constatar a ressonância desta afirmação com as de muitos pesquisadores que recentemente vêm prestigiando a inter a a transdisciplinaridade. Desconfia-se da dimensão animista do universo das totalidades. Ele (o universo) responde de modo fragmentário às nossas ações, quando nos aproximamos dele com abordagem recortada. Para Bohm, se mudarmos as abordagens, optando pelas totalidades, as respostas poderão ser outras. Contudo,

"pode-se dizer que no presente estágio da sociedade e na maneira com que se ensina ciências, que é uma das manifestações deste estágio, uma espécie de preconceito a favor de uma autovisão fragmentária do mundo é fortalecida, às vezes explícita e conscientemente, em geral de maneira implícita e inconsciente."
(Bohm, 1980: 15)

A crítica ao ensino de CN é das mais pertinentes. No Brasil, afirmamos que a opção fragmentária, até atômica, é hegemônica, ainda que implícita e inconsciente. A consulta aos livros-textos mais adotados nas disciplinas da área é suficiente para confirmar essa afirmação.

É verdade que constatamos, no outro extremo, práticas de professores que romperam com este processo. Em geral, acabam por enveredar caminhos que priorizam totalizações pautadas pela superficialidade, o que não constitui solução.

Alertando para o excesso de fragmentação atual na pesquisa, para as teorias enquanto formas mutantes de "insights", que podem apontar para uma realidade não descritível na sua totalidade, Bohm não deixa de relativizar também a sua representação, pois

"ela não é (sua teoria) a verdade absoluta sobre o problema, ao contrário é uma teoria que fornece algum 'insight' ao problema."
(Bohm, 1980: 48)

A permanência de várias representações, de teorias alternativas em concorrência, são pontos de vista defendidos por Bohm. Segundo ele, as visões de grupo, blocos, interesses, seriam menos características nas lutas internas ao empreendimento, com um caráter mais plural, menos paradigmático e, por consequência, menos dogmático. Semelhante argumento encontramos em Feyerebend (1984), para quem a Ciência é anárquica, e também em Stengers (1990), para quem a Ciência atual é muito mais conflitiva que a dos séculos XVII a XIX.

No seu recente 'Ciência, Ordem e Criatividade' (Bohm, 1989), este aspecto é bastante discutido. Contra a pressão da 'Navalha de Occam', argumenta pela criatividade e pelo pensamento como um jogo livre que podem contribuir para avanços significativos em CN, ao contrário do 'alto custo dos paradigmas' (está em Bohm, 1989: 75/82).

Uma questão anterior se coloca para que seja atacada a prevalência da Fragmentação no seu jogo com as Totalidades: *o que pode ser feito para se acabar com o estado prevalente da fragmentação?*

Tomando a pergunta também pelos seus pressupostos, Bohm alerta para não introduzirmos novas formas de fragmentos ao tentar respondê-la, porque:

"Um dos pontos mais difíceis e sutis desta questão é justamente esclarecer o que se deve atingir através da relação entre o conteúdo e o processo de pensar que o produz."
(Bohm, 1980: 18)

À semelhança dos pares conhecimento-experiência, observador-observado, aqui o esforço se dará pela abordagem conjunta do conteúdo-processo, na sua totalidade. Procurar a causa 'formativa' da fragmentação é o desafio.

Exercitando sua criatividade, Bohm chega a propor novas formas de linguagem dinâmica, a qual, a seu ver, poderia trazer alguma luz para a tomada conjunta dos conteúdos-processos. Identifica palavras-chaves numa nova sintaxe que privilegia mais o verbo (conseqüentemente, o tempo mais explícito) sem descaracterizar o substantivo (tempo mais implícito, concepção que favorece as observações na perspectiva estática). O esforço é para superar a correlação entre 'pedaços de palavra' e 'pedaços de pensamento'.

Embora concorde com a correlação e a considere brilhante, não creio ser pertinente essa nova proposição, muito menos na sua potencialidade para novas abordagens. Enquanto professor de CN, defendo uma certa dose pragmática. Não exagerada, ela pode ser positiva. Registro o esforço, mais para caracterizar a criatividade do autor e sua disciplina intelectual (está em 'Wholeness and the Implicate Order', cap. 2 - The 'Rheomode', pp.27/49).

Também verificamos com esse registro a discordância que Bohm revela sobre os escritos de Eddington a respeito dos paralelos entre linguagem e pensamento. Este último critica a análise material, mas não dá crédito à relação entre 'sílabas de palavras' e 'átomos de pensamento'.

A linguagem veio para ficar, sua mudança não altera a permanência fundamental: palavras estruturadas por sílabas - os pedaços das palavras, e sílabas estruturadas por letras/signos - os pedaços de sílabas. Porém, palavras não são amontoados aleatórios de sílabas, nem estas amontoados de signos. São estruturas com ordem, são grupos não comutativos, totalidades cujos significados transcendem, em muito, as partes, os pedaços. Palavras associadas a conceitos, permanentes, *universais* (ver cap.4, item 4.2).

Na linha dos pensadores que priorizam os processos, o autor evoca a realidade assim tomada, de Heráclito a Whitehead, mas radicalizando sem precedentes, pelo menos em nosso conhecimento:

"Não somente tudo está em mudança, mas tudo é fluxo, ou seja, o que é, é o processo de vir a ser em si, enquanto objetos, eventos, estruturas(...), são formas que podem ser abstraídas desse processo".
(Bohm, 1980: 48)

Longas polêmicas acompanham as declarações e argumentos de Bohm nos últimos anos. Infelizmente, ausentes no Brasil (consultar nota 6). Ao que parece, estamos longe de resolver questões desse porte, daí ser importante a apresentação de suas idéias. Rotular o autor como amante das 'variáveis escondidas', como acontece nos corredores ou na maioria dos cursos sobre a Teoria Quântica, não é a melhor postura. Todos que fizemos tais cursos, introdutórios e/ou avançados, quando fomos apresentados a Bohm, o conhecemos apenas pelo viés excêntrico que lhe é atribuído. Eu o 'conheci' por esse filtro preconceituoso.

Suas contribuições hoje comprovadas, por exemplo a do efeito "Bohm-Aharanov", que permite a obtenção de hologramas através de interferência de elétrons, impensável há poucos anos, ainda

não são contempladas. Talvez serão no futuro breve, pelo lado da 'C&T dos resultados', justamente o que ele mais critica ⁷.

Enquanto teoria, as formulações do autor estão garantidas pela sua interpretação para as 'teorias'. Seu alerta e sua crítica profundos apontam para cientistas e professores de CN suprimirem seu conceito rígido de 'objetividade'. Se está comprovado que existem 'conexões não locais entre partes microscópicas' (ver nota 7 deste cap.), um desdobramento incômodo implicará em redirecionar ou até remover nosso pressuposto da possível separação atomística de partículas, tanto espacial quanto temporalmente.

Os conceitos de 'potencial quântico', de 'ordens implícitas e superimplícitas', muito bem apresentados e discutidos em sua obra mais recente e já traduzida (Bohm, 1989), bem merecem ser apreendidos por todos os envolvidos na pesquisa e no ensino de CN.

Argumentar que a teoria que postula ordens implícitas, ainda não atingidas está errada, em nada retira a contribuição do autor; ao contrário,

"encontrar tais erros é um dos mais importantes meios de se fazer progresso em ciência."

(Bohm, D. 'Causality and Chance in Modern Physics', Routledge & Kegan, Paul - London, 1984: 31, tradução minha)

Novamente, aqui, temos a salutar despreocupação em perseguir obsessivamente uma 'ciência de rápidos resultados'.

A divulgação das propostas holísticas de Bohm, bem como seus diálogos com sábios e religiosos orientais ⁸, começou no Brasil pela publicação de Weber (1986). Como a discussão se dá pelo fio condutor da 'busca da unidade', o reconhecimento da validade das partes, pelo autor, fica relativamente prejudicado. Tal reconhecimento está explícito na citação a seguir:

"Existem contextos relativamente autônomos que podem ser estudados separadamente em algum grau de aproximação, o que dispensa estudarmos tudo com precisão perfeita."

(Bohm, 1984: 32)

As chamadas 'leis naturais' têm características que garantem o fator objetivo que determina a divisão de mundo entre as várias ciências e as várias áreas de saber, segundo o autor. Ele está distante das proposições ingênuas de totalidades superficiais.

O conhecimento, enquanto processo, é também uma abstração do fluxo total, que é o substrato para ambos, tanto a realidade como o conhecimento dessa realidade. Aproximando-se da 'consciência enquanto estofo mental' de Eddington, Bohm argumenta que:

"O pensamento, considerado no seu movimento de vir a ser, é efetivamente o processo no qual o conhecimento tem sua real e concreta existência."
(Bohm, 1980: 177)

A incorporação dos aspectos dinâmicos dos modelos para a natureza é total em Bohm, que se baseia também nos estudos recentes da termodinâmica dos processos irreversíveis. Estão incluídos 'o tempo e a irreversibilidade' na concepção de fluxo total. Trata-se de uma dupla palavra densa, tanto pela conotação dinâmica de fluxo (na qual a concepção newtoniana é apenas uma aproximação), como pela de totalidades (não acabadas, conectadas intimamente às suas partes e a totalidades outras de ordens superiores).

Essa profundidade na reflexão, esse debate rico a nível epistemológico não vem tendo reflexos mínimos no ensinar-aprender CN no Brasil. Se buscarmos uma palavra-chave para caracterizar o estado da arte, teríamos algo do tipo 'parado-pedaço', uma dupla antítese da expressão de Bohm.

Creditando especial interesse às mudanças revolucionárias das teorias da Física, Bohm ressalta que elas sempre envolveram a percepção de novas ordens e de novas linguagens para a comunicação e o debate dessas novas ordens. Tais afirmações (está na obra citada de 1980, p.111) muito se assemelham às de Bachelard, por sinal anteriores, quando este fala sobre o 'novo espírito científico'. Bohm escreve, sem citar Bachelard:

"Eventualmente, um novo espírito científico aflora na pesquisa científica, que leva ao questionamento da relevância de uma velha ordem. Por exemplo, Copérnico, Kepler, Galileu."
(Bohm, 1980: 110)

O autor se baseia também, como a grande maioria dos epistemólogos, na História da Ciência para subsidiar suas idéias e propostas. As novas ordens são seriamente consideradas, uma vez que, para as percebermos, devemos estar atentos às '*diferenças similares e às similaridades diferentes*'.

Nesta classificação de sintonia fina, que extrapola o clássico par 'semelhança-diferença' da imensa maioria dos autores, Bohm evidencia a natureza dialética de sua reflexão, enquanto discípulo de Heráclito. Menezes aponta para esse aspecto fulcral do problema F&T em sua publicação de Livre-Docência (Menezes, 1989: 83).

Conseguir introduzir negativas em conceitos que normalmente encaramos somente pela positividade, como na semelhança e na diferença, é para mim um grande avanço. Está longe de um suposto jogo de palavras.

Dada a importância do critério assinalado, resumiremos o exemplo didático que Bohm utiliza para clarificar o que é comum nas diferenças e o que é distinto nas semelhanças (Bohm, 1980 e 1989). Na publicação de 89, o exemplo é ainda mais claro e relativamente simples. A gênese das 'ordens de Bohm' está embutida num exemplo geométrico, que merece ser discutido.

2.3.1- O EXEMPLO E A REPRESENTAÇÃO FORMAL DA ORDEM

As categorias 'semelhanças na diferença e diferenças na semelhança' são ilustradas a seguir e facilitam ao leitor uma boa compreensão das 'ordens de Bohm'.

Uma relação constante entre segmentos - a semelhança - pode ser diferente em distintas ordens, a saber:

Fig.1.

Temos na fig.1 uma curva de primeira classe, com diferença de primeiro grau, pois somente a posição dos segmentos é distinta. As proporções a/b , b/c , c/d ... são uma constante, e os segmentos estão alinhados.

Fig.2.

Na fig.2, temos uma diferença na direção, além da de posição. Proporções ainda constantes na razão entre os segmentos, mas *diferença de segundo grau*, uma *curva de segunda classe*.

Uma circunferência (fig.3) pode ser aproximada a uma sucessão de pequenos segmentos iguais, em ângulos também iguais. Portanto, uma curva com muita semelhança e poucas diferenças.

Fig.3

Fig.4

Em três dimensões, mantida a semelhança, podemos ter diferença de terceiro grau, com uma formação em hélice (fig.4).

Em todos os casos, há uma *similaridade nas diferenças*, com a razão constante entre os segmentos.

Simultaneamente, podemos também considerar as *diferentes semelhanças nas diferenças*. A fig.5 é uma cadeia de segmentos em diferentes direções.

Fig.5.

Escrevemos, sobre a primeira linha (ABC):

$$a:b \text{ } S1 :: b:c$$

onde o símbolo (S1) caracteriza a primeira espécie de semelhança, aquela da direção. Para as linhas seguintes, escrevemos:

$$d:e \text{ } S2 :: e:f ; g:h \text{ } S3 :: h:i$$

onde, da mesma forma, os símbolos (S2) (S3), caracterizam respectivamente as *semelhanças de segunda e terceira espécies*. Podemos então considerar as *diferenças de sucessivas similaridades* (S1 S2 S3 ...) como um *segundo grau de diferença*. Assim, podemos desenvolver um segundo grau de similaridades nessas diferenças, que é:

S1:S2::S2:S3 (ângulos iguais apesar da mudança de direção).

Ao introduzirmos o começo de uma hierarquia de similaridades e diferenças, podemos prosseguir até curvas de 'altos graus de ordem', arbitrariamente. Estamos aptos a apreender o conceito espectral de ordem que Bohm propõe e utiliza em suas proposições e teorias.

Para graus indefinidamente altos, descrevemos as curvas comumente chamadas de 'caóticas', como as encontradas no movimento browniano. Para Bohm, este tipo de curva não é determinado por nenhum número finito de passos. No entanto, não seria apropriado chamá-lo de 'desordenada', porque tal denominação descaracterizaria a possibilidade de estarmos diante de alguma ordem complexa. A afirmação 'caótica ou desordenada' obstrui a conceituação de uma "ordem de qualquer espécie", ainda desconhecida.

A 'ordem fractal ou fractural' (consultar nota 17 do cap.1) é um exemplo recente que elucida o que Bohm sugeria, anteriormente à descoberta dessas 'novas ordens'. Existem regularidades, que Bohm classifica de 'ordens generativas', mais próximas da descrição da natureza do que as figuras geométricas tradicionais (triângulos, circunferências). Dos fractais, com mudanças de escala, temos invariâncias que se ajustam a muitas formas da natureza (como flocos de neve, deltas de rios, costas). Segundo ele,

"algo mais próximo da ordem fractural poderá ser um ponto de partida apropriado para discutir a natureza de modo muito mais geral e para obter melhores descrições formais dos processos da física e da biologia."
(Bohm, 1989: 205)

Registramos que esses novos ramos de investigação são muito recentes, posteriores às proposições de Bohm, aos seus primeiros escritos que apontavam para uma noção espectral de ordem.

Como é bastante comum a associação que fazemos entre ordem e previsibilidade, principalmente devido à nossa formação pautada pelo determinismo, Bohm nos alerta que seu conceito de ordem não deve ser identificado com previsibilidade. Esta é uma propriedade das ordens de primeira espécie, aquelas onde poucos passos determinam a ordem total. São os fenômenos associados aos modelos simples das teorias clássicas.

Os fenômenos da natureza são reais (essa 'obviedade' precisa ser lembrada sim, para nos alertar e nos livrar da confusão entre Ciência e Natureza/Realidade), irreversíveis, cujos modelos prescindem de ordens complexas e sutis. Em essência, estas não estão relacionadas à previsibilidade. Bohm se refere a contribuições do campo artístico para esclarecer esse ponto; por exemplo com pinturas. Sendo de boa qualidade, uma pintura é altamente ordenada, embora esta ordem não permita a previsão de uma parte do trabalho a partir de outra (está em Bohm, 1989: 218/226 e em Bohm, 1980: 115/118).

Esta insistência tem custado ao autor muitas incompreensões. Alguns que trabalham as mesmas questões sob o prisma da 'desordem ou da ordem a partir do caos', como Prigogine (ver a crítica desse àquele em Weber, R. 1986: 234/235) confessam não compreendê-lo completamente, mas julgam que procura transparência onde há opacidade, apostando, no fundo, na previbilidade.

Minha leitura é pela não correlação entre ordem e previsões, tão característica da Física Clássica. As diferenças de concepção estão, a meu ver, nas dimensões 'metafísicas' dos homens que abordam o conflito F&T, bem como qualquer problema em Ciência e Epistemologia (consultar seção 2.5 deste capítulo).

Por ora, afirmamos que Bohm acredita em 'ordens implícitas' e constrói argumentos para sua teoria. Prigogine acredita que 'o futuro não está lá', que 'tempo é criação', e também constrói

argumentos para sua teoria. Está aqui, no foco do problema de nossa investigação entre F&T, um exemplo de *'diferença na semelhança'*.

Uma questão-hipótese, a que já fiz menção na discussão inicial deste capítulo (ver item 2.1), é a formação inicial dos pesquisadores enquanto determinante em suas posições, mesmo sendo não ortodoxas. Abro um parêntese para argumentar em favor desta hipótese.

Como físico, Bohm está mais impregnado pelo caráter invariante das 'leis da natureza', pelas soluções de problemas através de equações lineares, com a densidade e a beleza de teorias potentes, das simetrias que os modelos evocam e sobretudo da generalização das teorias da Física Moderna, ainda que sejam criticáveis todos esses aspectos.

Como químico, Prigogine parte das relações mais complexas da físico-química, com modelos bem próximos de sistemas 'reais', aprofunda os estudos em fenômenos dispersivos e centra suas questões na 'seta do tempo'. As idealizações dos modelos reversíveis da termodinâmica clássica são, para ele, Ciência do passado, que já fez sua bonita história.

Um pesquisador de formação inicial em Biologia até aqui ainda não citado, Jacques Monod, dá um crédito muito maior ao *acaso* na dinâmica da natureza. A complexidade das unidades básicas da Biologia, as células, bem como as estruturas que garantem a conservação das espécies via reprodução, não seriam elementos que direcionam o pesquisador não ortodoxo a buscar, no acaso, certas explicações para os fundamentos de suas teorias? (Monod, J. 1970, ver também Monod et alii, Porto, Portugal, sd)

Voltemos agora para a complexidade intermediária da Química, para suas estruturas básicas localizadas nos átomos e moléculas, afinidades e combinações, catálise e auto-regulações, relógios químicos. Essas noções não apontarão o pesquisador de ponta não ortodoxo para alguma criação ou criatividade na natureza ?

No mesmo raciocínio, a 'simplicidade mais profunda dos modelos' da Física, a busca de partículas idênticas em sua estrutura no estado fundamental, os quarks e os leptons ; a crença na provável força única que poderá 'explicar' todas as interações, a potencialidade unificadora da grandeza energia, não indicariam ao físico de ponta não ortodoxo a opção de buscar ordens no universo, das simples às mais complexas? Nesse caso, posso falar da insistência com que os físicos procuram invariantes nas transformações, da redução do complexo ao simples, como traços de formação. Traços que permanecem, mesmo dentre aqueles que já abandonaram a crença no positivismo lógico.

Essa nossa hipótese ou questão, lançada sobre a impregnação, nos homens de Ciência, de traços irreversíveis adquiridos em sua trajetória inicial de pesquisa e formação, tem relação com a educação em CN, mesmo para os futuros cientistas, mesmo para os heterodoxos. Com a formação em campos da Tecnologia, como a Engenharia, ocorrem casos semelhantes, pelo menos quanto a visões de mundo, embora com contribuições menores em termos de epistemologia. Essa diferença

pode também remontar à formação original desses profissionais, voltada para o fazer e o engenhar, na perspectiva pragmática.

Claro que, para a maioria, que não aceita discutir "totalidades, holismo e interdisciplinaridade", porque, dentre outros motivos, 'a pesquisa é longa e a vida, curta', o carimbo a que me refiro é muito mais profundo em suas tintas e relevo. De certa forma, toda a vida escolar, em especial a graduação na especificidade e o início da profissionalização, acrescentam aderências, às vezes tatuagens cerebrais, dificilmente removíveis. Talvez sejam irremovíveis para a grande maioria ao longo da vida madura.

Ao final deste parêntese lembramos que o critério sofisticado de Bohm para se analisar 'semelhanças na diferença' e 'diferenças na semelhança' pode ser bastante rico para nós, educadores em C&T. Também lembramos que a discussão de minha 'hipótese' nos alerta, enquanto educadores em C&T, para aquelas posições que julgam ser facilmente mutáveis e transformáveis os pressupostos dos profissionais, após sua formação, após sua educação escolar. Quero dizer que a Educação Escolar 'faz cabeças', em particular a profissional. Isto implica em muito poder e responsabilidade; educação escolar é empreendimento socialmente forte e poderoso. Alguns parecem não se dar conta dessa 'obviedade'.

O discutido aqui não exclui as diferenças de pontos de vista entre homens de mesma formação original, por exemplo entre os físicos. Aqui temos clássicos exemplos de 'diferenças na semelhança'. O célebre debate entre Einstein e Bohr sobre a interpretação probabilística da Teoria Quântica, incorporando a luta milenar entre 'Apolíneos' e 'Dionisíacos', está sempre presente, na mesma especialidade. A presença do 'não racional' no pensamento científico, aliada aos enfrentamentos no conflito entre F&T, são sempre elementos básicos nestas discussões⁹.

Voltemos a Bohm. Do conceito espectral de ordem, o autor avança para o de medida, um instrumento crucial e demarcador do campo das CN.

Cada uma das subordens encerra um limite. Por exemplo, no triângulo da figura, temos que a ordem da linha ABC alcança seu limite no extremo do segmento C. Além desse limite, existe uma outra ordem, AFG.

Fig.6

Nos tempos antigos o significado básico de 'medida' era 'fronteira ou limite'. Neste sentido, cada coisa podia ser considerada como tendo sua própria medida. Pela etimologia, Bohm localiza

uma dimensão interna do conceito de medida, estendida por ele às criações artísticas dos gregos, em particular as tragédias. Nestas, sempre que o homem, ou o comportamento humano, extrapola suas 'próprias medidas', o resultado é também sempre trágico. Com efeito, até hoje convivemos com máximas que permeiam a cultura de vários povos, se não todos, sobre os desequilíbrios e a infelicidade dos homens que 'rompem com suas próprias medidas'.

Em latim, originalmente temos a ligação de 'medicina' com 'mederi' (que significa 'curar'), derivada de raiz que significa também 'medida'. Isto implica que a saúde está sempre associada ao manter-se tudo na medida certa, no corpo e na mente.

Semelhantemente, a sabedoria estava associada à 'moderação' e à 'modéstia', cuja raiz comum também é derivada de 'medida'. Daí também a sugestão, a máxima que qualifica como sábio o homem que mantém tudo, ou todas as coisas, na medida certa.

Atualmente, tornou-se um compromisso obrigatório a especificação da medida através de proporção ou razão; entretanto Bohm adverte que na compreensão antiga tal especificação é entendida com significado secundário. Assim, nessa leitura, a especificação não precisa ser estabelecida em proporções quantitativas. O exemplo dos dramas e tragédias dispensa qualquer relação numérica.

Nos tempos modernos, sobretudo depois da Ciência e da Tecnologia modernas, o aspecto da proporção quantitativa e das relações numéricas, que também havia entre os gregos, passou a ser muito mais enfatizado que anteriormente. Talvez seja mesmo um dos frutos de C&T, um preço a ser pago pela modernidade. Mesmo assim, na dimensão externa de medida (com o sempre necessário padrão), a noção de limite ou fronteira está sempre presente. Por exemplo, na construção de uma escala de comprimento, estabelecemos divisões que são, em essência, os limites dos segmentos ordenados ¹⁰.

Dos conceitos tomados de 'ordem e medida', Bohm prossegue para o de 'estrutura', enquanto desenvolvimento daqueles. Faremos aqui a caracterização desse conceito segundo o autor, dadas as inúmeras concepções e também as outras inúmeras (in)compreensões sobre ele. Estrutura é exemplo típico de polissemia. Compreendem-se alguns como mais voltados para as estruturas externas, do mundo (Brunner, 1970); outros como mais voltados para as estruturas internas (Piaget, 1975). Nossa leitura de Bohm, em termos epistêmicos, compreende o conceito de estrutura na indissociabilidade do sujeito com o objeto, portanto do externo com o interno, da matéria com a consciência. O coletivo de Bohm não é apenas o homocêntrico, o sociológico. Nem o biológico - é o cosmológico. A matéria não viva, na sua visão, carrega uma protoconsciência, a matéria viva não humana uma espécie de proto-inteligência/consciência.

A noção mais ampla de medida trabalha em conjunto com a noção de ordem. Esse conjunto leva, nos contextos mais amplos e complexos, à noção de estrutura. O simples triângulo, que serviu de exemplo para correlacionar medidas com limites e ordens, só se configura pela composição de

suas linhas, através de uma noção mais complexa, quando nos apoiamos em algum conceito de estrutura.

É exemplo semelhante (mas não igual) ao de ‘um amontoado de tijolos, madeira, metal’, espacialmente arranjados, de maneira a formar ‘uma casa’. A estrutura é mais complexa que o amontoado. A ‘casa de Bohm’, contudo, está sempre em construção-reconstrução.

Etimologicamente, a raiz latina ‘struere’ indica como significado essencial o de construir, crescer, envolver. Hoje a palavra é tratada como substantivo, mas o sufixo latino ‘ura’ significa ‘a ação de se fazer algo’. Para enfatizar que não está se referindo a um ‘produto acabado’, ou a um resultado final, Bohm introduz um neologismo, que em português pode ser entendido como ‘estrutar’ (‘to strutate’). O significado muito preciso do neologismo é o de ‘criar e dissolver’ o que nós hoje chamamos de ‘estrutura’, dada sua conceituação mais voltada para o estático e acabado.

A ‘estrutação’ (‘structation’) fica portanto descrita e entendida através de ordens e medidas, conceitos tomados no sentido etimológico das raízes e das concepções mais antigas, para além de seus sentidos métricos atuais. Ela (a ‘estrutação’), implica as ‘totalidades harmonicamente organizadas’ de ordens e medidas, ambas hierárquicas, pois construídas em muitos níveis, daí espectrais. Também extensivas, pois espalhadas em cada nível, daí possuírem sintonia fina em cada ponto (ou mancha) do espectro.

Podemos pensar que todos os aspectos de uma estrutura encerram o ‘trabalho conjunto’ de maneira coerente, uma vez que a raiz grega de ‘organizar’ é ‘ergon’, baseada em verbo que significa ‘trabalhar’. Localizo uma correlação entre estas idéias de Bohm e as de Gramsci, quando este fala sobre ‘organicidade’, para categorias mais complexas das ciências sociais (Gramsci, apud Joll, 1979).

É importante ressaltar a propriedade essencialmente dinâmica da natureza da ‘estrutação’, na matéria inanimada, nos seres vivos, nas sociedades, na comunicação humana. Bohm utiliza o conceito, ainda que implicitamente, na sua recente publicação, com ampla valorização da criatividade, associada a ordens e estruturas (Bohm, 1989).

Cada espécie de estrutura está limitada por suas bases de ordem e medida. Novas ordens e medidas levam à consideração de novas estruturas. Exemplos podem ser constatados na música, onde novas ordens de notas e novas medidas de ritmo, escalas, criam novas estruturas musicais. Na pintura, o autor localiza ordens, esquemas, estruturas, como já comentamos (Bohm, 1989).

Em Física, a História da Ciência evidencia o quanto novas ordens e medidas tornaram e tornam possível a consideração de novas estruturas. Bohm analisa detalhadamente estas correlações tanto na Física clássica como na moderna¹¹.

2.3.2- A ORDEM IMPLÍCITA E O HOLOMOVIMENTO

Dispensando maior atenção aos resultados e interpretações da Teoria Quântica, Bohm indica o que, dos pressupostos desta teoria, reforça sua proposição teórica. Para ele, é fundamental a 'não separação das partes divididas'. Considera uma totalidade indivisível, onde o instrumental-observador não está separado do 'objeto-observado'.

Das suas idéias iniciais de 'movimento em fluxo' e dos padrões de interferência de fótons que resultam em 'hologramas', 'imagens não planas' dos objetos, o autor propõe o seu HOLOMOVIMENTO. Esse conceito baseia-se também na totalidade indivisível da 'lente e do holograma'. Quando iluminado em suas partes ou pedaços, qualquer holograma mostra a totalidade da imagem, ainda que com perda de detalhes e de nitidez (Bohm, 1980: 146).

A concepção é um excelente instrumental didático, porque associada a material que se torna cada vez mais disponível, macroscópico. A base quântica da concepção é mais sofisticada, por isso mais difícil de ser discutida. A holográfica, não é.

Através do conceito de holomovimento, incorporamos a nova compreensão, a de que as partes também encerram os todos. Há alguma perda de detalhes, mas isto ocorre efetivamente (rasgamos uma fotografia, separamos os pedaços e perdemos o conjunto; rasgamos um holograma, ou tapamos uma parte; ao observar, continuamos vendo o conjunto holográfico. Este ensaio é fácil e acessível; hologramas têm sido impressos em algumas capas de revistas). De alguma forma, as partes estão comprometidas com seu passado, com o seu conjunto, com a totalidade do 'holomovimento' de onde vieram.

A separação total, o isolamento 'adiabático' dos fragmentos é pretensioso demais, um procedimento que Eddington já criticara no seu tempo.

No exemplo recorrido, a lente é um caso-limite de um holograma, bem como a fotografia. No padrão de interferência que constitui o holograma, cada região está comprometida com toda a estrutura. Estão nele as ordens, medidas e estrutura, trabalhadas conjuntamente.

Como o

"holomovimento é indefinível e imensurável, não faz sentido tentarmos uma 'teoria fundamental' na qual todo o conhecimento em Física (também em outras áreas), pudesse ter uma base permanente. Cada teoria trabalha uma abstração limitada a algum contexto, onde é relevante",
(Bohm, 1980: 151)

não se pode negar, mesmo para alguém que priorize as totalidades, o valor da fragmentação. Pelo menos nas limitações dos alcances de teorias ela tem sido fundamental. A tendência é prestigiar a fragmentação desde que nos mantenhamos conscientes do compromisso das partes com o conjunto, o holograma das teorias.

Por um lado, as 'teorias atômicas', que resistem ao movimento em fluxo, que estão ancoradas nas menores partículas idênticas, são mais pobres; de outro, as que se desgarram desse compromisso, que reconhecem a fluidez das partes, são mais ricas. Aspecto essencial do pensamento de Bohm.

A fragmentação está sempre associada ao triunfo do pensamento científico. Ele conquistou generalidades que, por envolverem novas ordens, demandam novas linguagens e novas estruturas. Como consequência, a profundidade obtida pelo processo de investigação analítico/fragmentário da especialidade alcança totalidades antes inatingíveis. Depois de um tunelamento, abre-se nova paisagem.

As mudanças revolucionárias da Ciência, em particular da Física, tomadas invariavelmente pelos epistemólogos, são também evocadas por Bohm, que declara:

"A ordem de movimento da maçã (em queda livre) é a mesma para a lua e a mesma para tudo."
(Bohm, 1980: 114)

A nova linguagem de Newton (para quem a soma das partes sempre corresponde ao todo) se apóia também na matemática por ele criada (o cálculo diferencial), para explicitar sua nova ordem. A teoria da gravitação consiste em nova estrutura, de caráter profundo, revolucionário. Para Bohm, também poético. Como do grego a raiz 'poien' significa 'criar', a percepção de novas ordens é um 'flash de um insight' profundo, que é para ele basicamente poético. Aqui o autor não se refere aos aproveitamentos utilitários e pragmáticos da contribuição newtoniana, embora o faça em outros comentários, mesmo em relação ao utilitarismo das novas teorias revolucionárias deste século (consultar item 2.2 deste capítulo).

A ordem implícita proposta é uma resposta a essa sucessiva evolução marcada por saltos ou descontinuidades, que caracterizam o pensamento científico.

É fundamental aqui ressaltar o caráter evolucionário da proposição de Bohm, uma vez que estamos procurando alternativas para o ensino de CN e de Física, preocupados em não fechar aberturas para novos conhecimentos e indagações. Do contrário, correremos grande risco de adotar modelo que reforça novos conhecimentos, que substituem bem os antigos, mas se sobrepõem como dogmas, impedindo a crítica e principalmente a criação de novos conhecimentos.

Permanece contudo uma questão: não há evidência, ou 'base empírica', que garanta pelo menos a pertinência da postulação das ordens implícitas?

A resposta é sim !

A verificação de fenômeno 'não possível', ainda na década de 60, muito impressionou o teórico. Ele confessa sua perplexidade ao constatar, em um programa de TV, uma demonstração de reversibilidade. O dispositivo consiste de dois copos cilíndricos concêntricos; o primeiro é fixo, o

segundo (externo) possui um eixo que permite sua rotação lenta. Uma gota de tinta em líquido não miscível (glicerina) que preenche o espaço entre os frascos, é dispersa mediante rotação do cilindro. A parte do líquido próxima ao cilindro em movimento se arrasta com ele, a parte próxima ao cilindro fixo permanece quase em repouso. A gota então se transforma num fio cada vez mais fino, ilustrando o movimento dos pequenos elementos da glicerina. Sempre consideramos tal situação irreversível, pois o novo padrão é caótico em relação ao inicial, ordenado, da gota localizada. Contudo, se invertermos a rotação lentamente, constatamos a gota de tinta reaparecer, ilustrando a reorientação das porções do líquido.

Essa experiência é factível e revela, por analogia, o compromisso entre a noção que temos de 'caos' e a 'ordem oculta' que Bohm postula. No caso simplificado, é possível reverter o padrão de ordem oculta ou implícita, para o simples, através da inversão de rotação do cilindro¹².

Nessa metáfora, Bohm associa, numa correlação notável e criativa, 'posição e momentum do elétron' a gotas de tinta derramadas na glicerina, em instantes diferentes da rotação. Assim, se a posição fosse observada, o momentum estaria espalhado; quando este estivesse em condições de ser observado na rotação certa, aquela estaria espalhada.

A ordem implícita é o domínio no qual os eventos estão conectados a uma totalidade ou unidade subjacente ao mundo explícito dos eventos separados (Brockman, 1989: 233). As coisas que constatamos disjuntamente poderão estar conectadas, numa ordem não acessível.

O método analítico torna-se frágil nesta teoria, porque a separação entre partes rompe com a pressuposição. Na heteronomia, aplicam-se muito bem as descrições analíticas, porque esta dimensão é própria dos domínios das leis onde muitas coisas relativamente autônomas estão relacionadas a algo externo, de maneira mecânica. São domínios de simplicidade, com modelos correspondentes.

Nos contextos mais amplos e complexos, a descrição analítica não é mais válida, pois nesse caso prevalece o domínio da holonomia, campo de leis da totalidade. Embora não seja negada também aqui a potencialidade da análise para certos domínios, ela não tem mais validade no sentido irrestrito. Cada forma de autonomia relativa, de heteronomia, está, em última instância, limitada pela holonomia. Ademais, não devemos entender a holonomia como meta fixa e definitiva da pesquisa, mas sim como movimento em fluxo, onde novas totalidades estão emergindo continuamente (Bohm, 1980: 157).

Na dimensão do holomovimento, o conceito de lei é mais determinado pela holonomia. Romper com a validade do método analítico, que incorpora o princípio científico da fragmentação, é um dos avanços de Bohm, que merece discussão. As restrições que encontramos nos escritos de Eddington, bem anteriores (ver item 2.2 deste cap.), são agora incorporadas teoricamente.

As leis gerais são formuladas nesta perspectiva, mediante conjuntos de 'multiplex', ao invés de um continuum. A matematização da ordem implícita já aparece na publicação de 80 e vem sendo

aprimorada até o presente. Coerente com a busca de nova linguagem e nova matemática que novas ordens e estruturas impõem, ele escreve:

"Na descrição matemática da ordem explícita, uma transformação descreve mudanças geométricas simples dentro dessa ordem; no contexto mais amplo da ordem implícita, chamaremos o que acontece de metamorfose.
(Bohm, 1980: 159)

As mudanças são, nesse caso, muito mais profundas e radicais do que as de rotação, translação, etc. das transformações. O domínio de um 'multiplex' está relacionado a metamorfoses, conceitos descontínuos.

A extensão da teoria das ordens implícitas ao campo da consciência é considerada. Na maior generalização proposta, temos o tratamento do cosmos e da consciência enquanto totalidade singular não separável do holomovimento.

É sugerido um caminho que estimula a criatividade. Indica, mais ainda, um salto do antropocentrismo para uma 'centro dinâmico pautado pelo cósmico que incorpora a consciência'. Um desafio prazeroso para se conhecer muito, mas conhecer ativamente, de preferência com rebeldia, porque:

"... a totalidade do movimento de recolhimento e desdobramento pode ir muito mais além do que pode ser captado por nossas observações mais distantes e precisas."
(Bohm, 1980: 179)

As sucessões entre *recolhimento* e *desdobramento* são analogias bastante utilizadas para ilustrar, explicitar, as propriedades do holomovimento. Trata-se de um 'esquema *epiciclóide*', que se aplica a muitos exemplos, dentre eles o da 'gota de tinta na glicerina'.

Na perspectiva da ordem implícita prevalecem as formulações dedutivas, a partir de totalidades indivisíveis do universo. Aqui, o autor assume postura semelhante a muitos epistemólogos, desde Popper, que combate impiedosamente a indução (Popper, 1975: 13/40), até Feyerabend, com sua radical postura 'contra-indução' no seu desconcertante 'Contra o Método' (Feyerabend, 1977, cap.1).

Dados os componentes teleológicos das formulações, seu compromisso com 'a causa final', a presença forte em seus escritos de elementos que são atribuídos a domínios não racionais da inteligência, muitas vezes Bohm é aproximado demais à religião, mesmo porque está sempre aberto e em constante diálogo com porta-vozes da sabedoria oriental. Contudo, ele próprio critica a correlação de resultados entre religião e ciência, assumindo, como já dissemos, 'impulsos religiosos, na formulação de teoria, à semelhança de Einstein. Dada a divulgação deste comportamento do autor em obra de terceiro, e dado que essa discussão não é relevante para

nossas intenções, não passaremos deste registro (consultar Weber, R, 1986, em especial as entrevistas com Bohm, sozinho ou em companhia dos 'sábios orientais').

O traço marcante do autor é carregado de rejeição ao cartesianismo, a princípio a não separação entre 'distintos objetos de análise'. Indo até seus limites, avança proposições que podem muito bem, atualmente, ser tomadas como puramente místicas, como a seguinte:

"... consciência e matéria- viva e não viva- como constituintes de uma realidade total, na ordem implícita..."
(Bohm 1980: 196)

As conseqüências destas novas formulações, de cunho epistemológico e filosófico, estão ausentes dos cursos de formação.

Não serão estes estudantes os professores de amanhã ? Como serão introduzidos os novos conhecimentos, sobretudo as abordagens não ortodoxas, com esta prática de negligência ou de censura ?

2.4- O DESEQUILÍBRIO E A REDESCOBERTA DO TEMPO

A afirmação de que

"o futuro não está dado: o tempo é uma construção e isso implica responsabilidades éticas"

(Prigogine, I. in *Futures*: 16, (86) - aug/86, pp. 493/507, tradução minha)

é o 'leitmotiv' do autor para o artigo que discutiremos, um resumo denso de seu pensamento. Ela caracteriza pensamento e preocupação do pesquisador com o trabalho científico, numa perspectiva aberta, que modifica e é modificada pelas relações sociais. Um dos desdobramentos da afirmação é que

"a humanidade atravessa uma era de transição, a ciência também(...). As dimensões do empreendimento científico estão mudando e, por conseqüência, o significado da racionalidade científica; por extensão as relações entre ciência, civilização e democracia."

(Prigogine, idem: 493)

Esse autor, que busca relações mais explícitas entre Ciência e Sociedade do que David Bohm, evoca :

- o pessimismo cultural europeu, evidente nos trabalhos de Heidegger, Sartre, Freud e Lévi-Strauss, que ele cita, mas que também pode ser constatado nos escritos dos teóricos da Escola de Frankfurt;
- a resistência aos avanços de C&T dos ativistas ecológicos principalmente nos EUA, contraposta às atitudes positivistas prevalentes nesse país, assim como no Japão em tempos recentes, ao considerarem a Ciência como simples receita de sucesso.

Tais considerandos são suficientes para se discutir o par 'ciência-cultura' à luz das novas realidades e perspectivas da ciência contemporânea. Para ele, é este o momento certo, referindo-se ao momento histórico em 86, época das primeiras tramitações visando a unificação européia ocidental. Ainda não tinha pista forte para os eventos ocorridos em 89 na Europa oriental.

Reconhecendo que os fatores internos e externos da História da Ciência são centrais para esse debate, Prigogine reforça forte influência do contexto cultural e histórico na ideologia científica. Constatamos, assim, uma tendência para o enfoque externalista, sem desprezar os critérios intrínsecos do empreendimento como também relevantes para seu estudo crítico (consultar nota 7 do cap.1).

No conflito entre F&T, desde os recortes da pesquisa até o enlace entre relações complexas que caracterizam as culturas ou a cultura, temos relações que destacam e demarcam ciência.

O que antes era acreditado como simples, sob os paradigmas da Física Clássica , incluído o 'tempo reversível de Newton', hoje, sob influência da cultura, passa a ser considerado complexo.

Aquele tempo não é o da vida, não pode ser o tempo vivido. Aquela ciência se desliga da cultura. O tempo atual redescoberto, muito mais próximo dos sistemas reais, irreversíveis, tem dimensões muito mais profundas que o primeiro. É o tempo dos homens, vivido. A ciência atual se incorpora à cultura, uma nova racionalidade se faz necessária.

As correlações entre contexto e desenvolvimento científico- incluídas as revoluções científicas no sentido definido por Khun, bem como a historicidade, são critérios básicos para Prigogine. Exemplos estão extensamente discutidos em sua publicação mais conhecida (Prigogine e Stengers, 1985), bem como no denso artigo que escolhi para estudo detalhado nesta tese. Seguem alguns.

Para além das pretensões separatistas do iluminismo e da objetividade, defendidos nos primórdios da ciência moderna por Bacon, conceitos como o de 'lei natural' estavam impregnados pela justiça e religião da época das monarquias absolutistas, enquanto reflexos da suprema garantia divina de racionalidade. Como, para Deus, não poderia haver distinção entre passado e futuro, para os cientistas que incorporam essa visão transcendental da época o tempo seria mesmo uma ilusão.

Escritos de Newton evidenciam essa crença - até Einstein dizia-ser o 'tempo uma ilusão' - e reforçam a meta principal da ciência clássica, a de descrever um estado fundamental libertado do

tempo. Continuando, o autor ressalta ter sido o mundo atemporal da Física Clássica sacudido pela revolução industrial. Aqui temos, implicitamente, seu engajamento com a vinculação entre C&T, depois de explicitar o compromisso da ciência atual com a cultura.

As formulações de Clausius em 1865 sobre conservação e degradação da energia já revelam irreversivelmente que o mundo tem uma história, com o tempo participando tanto da conservação como da degradação. Uma história cosmológica, descrita pelo aumento da entropia. História que estimula um pessimismo presente na teoria relativista da evolução biológica de Darwin, onde as flutuações estatísticas são selecionadas através da interação com o ambiente. A complexidade já surge então, bem distante da simplicidade do tempo reversível. Porém, o universo está em degradação, na difícil tradução da expressão cunhada por Eddington - 'the running-down of the universe' (consultar item 2.2 deste cap.).

Para Prigogine, de quem extraímos os exemplos e as relações apresentadas,

" este pessimismo fundamental está presente majoritariamente na literatura científica."
(Prigogine, 1986: 496)

Passando para o início deste século, sem originalidade como a grande maioria de historiadores, mas com características externalistas e 'dionisiacas', o autor, como outros, ressalta as novas teorias da Física como revoluções sem precedentes: a Relatividade, que leva a imaginação e conhecimento humanos para a escala cósmica, e a Teoria Quântica, que, no outro sentido, mergulha o homem no campo microscópico. Lembra, como Eddington, da novidade fundamental que não dissocia as duas teorias, a saber, o papel das constantes universais (a velocidade da luz e o 'h' de Planck) ¹³.

Como desdobramento das teorias modernas, sobretudo da quântica, temos hoje a evolução, a diversificação e a instabilidade. Implicitamente, temos novas possibilidades de pensar-atuar, quando se dominam os instrumentos dessas teorias criticamente.

Numa posição bastante lúcida, Prigogine afirma que hoje dispomos do determinístico e do reversível, mas também do estocástico e do irreversível. Porém adverte que:

" O artificial pode ser determinístico e reversível; o natural contém elementos de aleatoriedade e irreversibilidade. Uma nova visão da matéria, não mais passiva como na cosmovisão mecanicista, aflora; ela tem atividade espontânea. Esta mudança é tão profunda que eu acredito que podemos falar de um novo diálogo do homem com a natureza."
(Prigogine, 1986: 497)

Na mútua influência contextual de C&T em evolução, na atual cientificização do tecnológico, na crença da imutabilidade, da determinação e reversibilidade das 'leis naturais', o novo espírito

aflorou, abalando a tradição científica hegemônica do início do século. As exceções de antes passam à regra para muitos. As leis fundamentais que ancoravam o pensamento anterior são aplicáveis apenas em condições limitadas. O que era geral passou a ser particular, o que era simples se transformou em complexo, num curto período. O universo facilmente fragmentado e fragmentável revelou-se com rebeldia, retirou sua máscara dormente e se mostrou ativo e criativo.

Resultados inesperados aceleraram essa mudança brusca, tanto em Física como em Química, mais recentemente em Biologia. Com a luz do presente, Prigogine ilumina o passado recente e questiona, tentando se transferir para aquela época:

"Quem acreditaria, cinquenta anos atrás, que a maioria das partículas, se não todas, são instáveis? Que poderíamos falar da evolução do universo como um todo? Que, longe do equilíbrio, as moléculas podem se comunicar, na expressão antropomórfica, como testemunhado pelos 'relógios químicos'?"
(idem, ibidem: 497)

Prigogine discute os critérios que demarcam a distinção entre ciências 'duras e moles' ¹⁴. Nos últimos anos, aprendemos que os materiais simples em condições de não-equilíbrio, como um gás ou líquido em reações químicas triviais, podem adquirir comportamento complexo.

O autor introduz a noção de '*hypnon*', que caracteriza o comportamento dormente da matéria em equilíbrio. É um construto muito rico, à *semelhança das ordens de primeiro grau de Bohm, as explícitas* (consultar o exemplo geométrico neste capítulo, seção 2.3.1). Há, contudo, uma diferença na semelhança entre os dois cientistas, com Prigogine rejeitando o conceito de ordem, devido à sua carga equilibrada e consensual, impregnada pela ciência clássica. Prefere o 'caos', enquanto Bohm prefere as 'ordens' hierarquizadas.

Vimos ao longo do capítulo como esses pensadores não ortodoxos evoluíram das condições cristalinas da ciência clássica para as translúcidas da moderna. Se Eddington não avança tanto é porque não viveu os anos recentes. Sua insistência no compromisso entre os campos da consciência e do mundo material está presente nas reflexões de seus sucessores e, certamente, daqueles que virão.

Outra diferença na semelhança entre os autores é a ponderação que Prigogine dedica à termodinâmica do não-equilíbrio. Ele distingue, com maior explicitação, os sistemas isolados dos abertos, pois a termodinâmica atual contempla os sistemas embebidos em seu ambiente. Daí, uma ponte está em construção, porque

"estamos (cientistas da natureza) mais próximos de objetos tipificados em cidades ou sistemas vivos, que só podem sobreviver porque comprometidos, mergulhados em seus ambientes."
(Prigogine, 1986: 497, destaque meu)

O caminho para as interconexões entre partes e totalidades está aberto, mesmo internamente às ciências, antes tão separáveis e distinguíveis, hoje mais próximas. As ciências duras dão adeus aos seus sistemas isolados, enquanto prioritários. Esta é por ora uma tendência, muito relevante para cientistas não ortodoxos, porém forte demais para ser ignorada ou negligenciada.

Bachelard já alertou, anteriormente aos resultados da pesquisa dos sistemas em desequilíbrio, que *'o simples é complexo'*. Edgar Morin adota esta expressão como um de seus guias para investigar a complexidade (Morin, 1982, ver nota 15 do cap. 1). Percebo que Prigogine vai além, porque sai dessa condição de simplicidade e rotula pobremente aquela *'matéria tão preciosa da física clássica'*:

"No equilíbrio, a matéria é cega; longe do equilíbrio ela começa a 'ver'."
(idem, ibidem: 498)

O grau animista da matéria, presente em Eddington e Bohm, está também no pensamento de Prigogine.

Os exemplos que o cientista soviético utiliza estão apoiados em novos conceitos derivados dos fenômenos não-lineares, em relação ao desequilíbrio e à irreversibilidade. É o caso dos *'atratores'*, das *'bifurcações'* e dos já comentados *'fractais'*, contemplados em *'espaços de fase'*, que muitas vezes não são facilmente assimilados por leitores distantes da linguagem e dos códigos das ciências duras (consultar item 1.5 e notas 16 e 17 do cap.1).

A nova racionalidade defendida por Prigogine incorpora o universo com sua história.

Irreversibilidade e probabilidade não podem ser associadas à ignorância; racionalidade não pode ser associada à certeza.

Contrariando as tendências marcadas pelo pessimismo que atribuem à ciência o ônus da alienação, o autor ressalta que

"o próprio homem e a existência humana demonstram ser a extrema realização das leis básicas da natureza, enquanto expressões da irreversibilidade e das flutuações probabilísticas."
(Prigogine, 1986: 505)

De fato, ele tenta aproximar os novos métodos das ciências duras aos métodos das ciências moles. Não à tendência no sentido oposto, que por tempos prevaleceu, influenciando campos abertos e complexos como os da psicologia e economia. Tendência com raiz na razão instrumental, de alto custo histórico/social que, não obstante seus sucessos, levou (ou trouxe?) à alienação, desde Copérnico até Darwin, na visão pessimista que o autor atribui a Freud (Prigogine, idem: 502).

No sistema social, claramente não linear, as interações entre os agentes podem ter um efeito catalítico, na medida em que flutuações geradas podem ser reduzidas ou amplificadas pela sociedade. Como exemplo, o autor lembra que as aquisições de conhecimento (restrito a poucos pesquisadores) no escopo da física do estado sólido foram enormemente amplificadas em poucas décadas até a revolução atual que se processa no terreno da informática. Portanto,

"os problemas oriundos da interface científica - tecnológica só podem ser resolvidos com a compreensão da real complexidade dos processos sociais. Se esses processos não são compreendidos, a resposta do sistema (social) pode ser negativa."
(Prigogine, 1986: 503)

Temos uma boa relação de C&T com a sociedade; temos mais ainda o controle, via resposta positiva ou negativa, amplificada ou reduzida, desta sobre aqueles empreendimentos. Para educadores que passam a priorizar o ensino de CN calcado no tripé Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), essas colocações são fundamentais. Podem sugerir pressupostos, a meu ver. Lembremos que, sem a compreensão dos processos, o sistema (sócio-educacional) responde negativamente. Exemplos recentes na história do ensino de CN no Brasil e no exterior estão muito presentes em nossa memória. Exemplos de respostas negativas!

O alerta acima também pode ser localizado nos escritos de Bohm, mais implicitamente. Ele afirma sempre que um sistema responde parcialmente, quando atacado por seus fragmentos. Pode haver mesmo respostas negativas, enganosas.

Quando tomado na sua totalidade, na complexidade de suas relações, o sistema pode responder positivamente.

Os elementos de criatividade, emprestados da arte - poesia, pintura - , são também muito valorizados por Prigogine. Ele diz que estamos diante de um mundo criativo no qual muitos futuros distintos podem ser contemplados. Está utilizando modelo recente de resultados prováveis de um sistema longe do equilíbrio; esses resultados são 'decisões' do sistema dentre várias possibilidades, diante de 'bifurcações' ¹⁵.

Problemas complexos como o *tráfego, estrutura sócio-econômica de uma cidade ou região*, que se iniciam por caminhos não lineares, são exemplos ricos que, segundo o autor e muitos outros, podem levar a mecanismos de decisão mais transparentes em sociedades democráticas. Evidente que tais modelos não podem substituir as decisões políticas, porém é também evidente que podem auxiliar a fazer as implicações destas, mais explicitamente.

Antes, metodologias próprias das ciências naturais, por longo período compreendidas como 'única- a metodologia científica', ainda muito prevalente entre intelectuais e mesmo professores de CN, foram estendidas a ciências complexas, com a falsa promessa de soluções deterministas pelas previsões mecanicistas. Agora não se trata mais disso, pois os sistemas podem se desdobrar diante

de soluções alternativas ou bifurcações. Não há mais garantias, embora a riqueza dos modelos e os estudos de antecipação possam contribuir para uma evolução mais desejável das sociedades.

Conscientes de nossas limitações, devemos

"explorar os limites de nossa previsibilidade tanto nas curtas escalas de tempo, como nas longas"
(Prigogine, 1986: 508)

e, em consequência,

"o reconhecimento da complexidade intrínseca ou imprevisibilidade de nosso ambiente natural não nos deve levar a atitudes de resignação."
(idem, ibidem: 508)

O germe de um novo otimismo, que aponta para possibilidades antes não consideradas, é valorizado por esse pesquisador. Ele também considera, como já vimos, a não previsibilidade na construção de suas ordens hierarquizadas, bem como a criatividade enquanto categoria fundamental para o trabalho em investigação científica.

Essa tendência, de se propor um novo otimismo em oposição ao clima de resignação, parece crescer dentre alguns setores da pesquisa. Contudo, ela está menos presente entre estudiosos de áreas interdisciplinares, como a da educação. Será essa diferença, da mesma forma, uma demarcação entre as posições distintas quanto ao nosso futuro, também em parte originada durante a formação e o início de carreira desses homens?

Ainda é muito comum, entre autores de filosofia, sociologia e educação, o alerta para as diferenças qualitativas entre o social e o 'natural' considerando a impossibilidade de tentarmos a transferência de modelos de um campo para outro¹⁶.

A complexidade, anteriormente restrita a outras áreas externas à das ciências duras, hoje invadiu o cerne da Física e da Química. Totalidades de conhecimento antes não compatíveis, pois muito bem fragmentadas, hoje começam a ser contempladas em conjunto, com destaque para o complexo.

Essas discussões nos apontam para uma advertência: *a crença na obtenção de transparência através da abordagem mais profunda de problemas excessivamente recortados é atualmente muito mais difícil de ser sustentada.*

Educação, no seu sentido mais pleno; ensino de CN com as amarrações entre C&T determinadas pelas sociedades, precisam incorporar esses novos resultados. Principalmente ao pensarmos na formação básica, aquela que todo cidadão merece e deve ter como um direito. Ensino-aprendizagem que servirá como instrumento para o cidadão atuar, na direção transformadora, sobre o seu mundo.

A nova racionalidade, oriunda da prática de uma nova Ciência Natural mais próxima da Ciência Social, precisa ser contraposta à antiga, nas salas de aula. Tarefa dos educadores de CN!

Para encerrar a discussão epistemológica sobre velhos e principalmente novos aspectos da tensão entre F&T, farei um distanciamento do que foi apresentado até agora. Sigo a sugestão de Eddington, que nos estimula a refletir o conhecimento adquirido simultaneamente à natureza desse conhecimento. Localizo, como 'observador dos observadores', Gerald Holton.

2.5- OBSERVANDO OS OBSERVADORES

Gerald Holton, à semelhança de seus colegas historiadores da Ciência e epistemólogos, propõe um modelo para a investigação científica. Não se trata mais de responder à questão 'o que é Ciência?', ninguém mais tem tal pretensão. Ele reflete sobre as características do empreendimento com auxílio quase que exclusivo da História da Ciência, tanto no contexto da descoberta como no da justificação.

A opção por Holton, além de obedecer aos critérios que estipulei, é oportuna porque, dentre outros motivos, ele é muito pouco difundido nos países de língua portuguesa, principalmente no Brasil. Classificado mais como um historiador internalista, físico de formação, é polêmico e vem contribuindo muito para a área, inclusive para o ensino de CN¹⁷.

Holton lista oito áreas de pesquisa para os interessados em conhecer o processo da evolução e caracterização do pensamento em CN. Desde o conteúdo do evento a ser estudado, até a análise lógica da obra, ele nos alerta para 'esta estratégia reducionista cujo emprego é imposto pelas nossas limitações humanas'. Está se referindo à separação, que nunca pode ser inflexível, entre as suas oito áreas¹⁸.

Além dos oito elementos (op.cit. pp. 18/20), o autor propõe mais um, aquele que está mais relacionado com a sua contribuição. A seu ver, também a meu, fundamental para se analisar um trabalho científico é a ANÁLISE TEMÁTICA. Ela se justifica, porque:

"Em muitos (talvez a maioria) conceitos, métodos e proposições ou hipóteses da ciência, passados e presentes, há elementos que funcionam como temas, forçando ou motivando e, por vezes, guiando (normalizando) ou polarizando a comunidade científica."

(Holton, G. 'A Imaginação Científica', Rio de Janeiro, Jorge Zahar, 1979: 21)

As discussões tradicionais entre os cientistas estão muito mais afetadas pelo conteúdo *empírico e analítico* do seu trabalho, ou dos 'fenômenos repetíveis e das proposições relacionadas com a lógica e com a matemática'. Holton, ainda que advertindo para as limitações que todos os

modelos encerram, não resiste e propõe o seu; mais ainda, aponta as suas deficiências, e o considera (o modelo) uma ‘imperfeita analogia’.

No empreendimento científico, ele associa as dimensões empírica e analítica a dois eixos perpendiculares, respectivamente ‘x’ e ‘y’. A analogia é esta imagem com anotação usada em todas as representações cartesianas de planos da geometria analítica. Podemos também associar (embora Holton não o faça explicitamente) essas dimensões-eixos a tradições de pesquisa de países. Assim, a escola inglesa está mais próxima da dimensão empírica/eixo ‘x’; ao passo que a francesa se localiza mais próxima da dimensão analítica/eixo ‘y’.

A dimensão temática (do grego ‘thema’ - proposição) estaria fora desse plano ‘xy’, com elementos de racionalidade mais complexos, acompanhando a terceira dimensão, do espaço euclidiano, através do ‘eixo z’. Em minha analogia com as tradições de pesquisa, esse eixo está mais próximo da escola alemã, porque sempre mais atenta aos embates entre ciência e filosofia.

Do que trata, mais especificamente, o eixo z, o temático por excelência?

Holton fornece vários exemplos de investigação sua, sobre trabalhos originais de pesquisadores, dentre eles Millikan e Einstein (ver nota 20 deste cap.). Dá preferência a períodos de intensa agitação, de revoluções científicas, como fazem todos os historiadores e/ou epistemólogos modernos mais respeitados.

Como ilustração evidente do componente temático na pesquisa contemporânea, ele cita um artigo de Steven Weinberg ¹⁹, publicado no ‘Scientific American’, sobre ‘Teorias Unificadas das Partículas Elementares’. Não se trata de analisar o conteúdo do artigo, mas sim destacar afirmações que ilustram bem a impregnação de Weinberg pelo componente temático, pelo ‘eixo z’. Exemplos:

"uma das esperanças duradouras do homem tem sido a de encontrar leis gerais simples; teoria unificada; partículas elementares, conservação; simetria; isotropia; homogeneidade; eficácia dos números inteiros como instrumentos de explicação..."

São escritos de Weinberg retirados por Holton do artigo citado. Traços inconfundíveis da presença do eixo temático na concepção dos cientistas atuais. Talvez sejam ainda débitos nossos para com os gregos; Pitágoras, Demócrito e outros que formularam grandes questões, atuais, passados mais de 20 séculos.

A síntese, voltada para a unificação, a totalização, é a categoria eleita por Weinberg nesta publicação. Ainda que a análise seja levada às últimas conseqüências, até os limites das partículas elementares, é, nesta visão, um instrumento dos homens, buscando confirmar aquela ‘esperança duradoura’.

A análise, aliada ao critério de classificação pelas categorias semelhança/diferença, aproxima a Física de Partículas à Zoologia. Para Holton, isso não é somente irônico; nos força a refletir a origem de termos como ‘vida longa ou curta de partículas’, de tantos outros que caracterizam os

'ciclos vitais' de partículas. *Ciclo vital* é também um tema! Igualmente, *simetria, conservação, isotropia, homogeneidade* são temas!

Pelo final do artigo que Holton discute, a necessidade de confirmação está presente, uma vez que

"se tais especulações forem confirmadas por novos trabalhos teóricos e experimentais, teremos dado um grande passo na visão unificadora da natureza."
(Weinberg, apud Holton, 1979: 29)

Isto quer dizer que os eixos *x'*(empírico) e *y'*(analítico) são decisivos para consagração dos temas do eixo *z'*. É importante ressaltar que estamos tratando de escritos de um físico (Weinberg, apud Holton) consagrado, com posição mais próxima à ortodoxia do que dos autores que discutimos mais detalhadamente neste capítulo. Ou seja, o componente temático não é privilégio dos 'excêntricos', não só dos físicos, mas de todos os que trabalham em CN²⁰.

Há conflitos dentre os distintos temas, mas sempre há temas, segundo Holton. Mesmo a contragosto do autor, identificamos o componente temático dos cientistas com o campo 'metafísico', com uma racionalidade para além do empírico-analítico, com as crenças. Assim, Bohm está também marcado por TEMAS, nem todos compatíveis com os de Weinberg.

O próprio Holton revela seu componente temático, suas preferências, ao comentar sutilmente que a visão temática unificadora democritiana (de Weinberg, o primado do discreto, atômico ou corpuscular), eliminaria, confirmadas as demonstrações (o empírico, no reforço do tema), as oposições, ou:

"O tema do primado do contínuo, como na obra de um teórico que explicou a matéria como singularidades ou vórtices num fluido ou campo, e que não podia acreditar que a teoria dos quanta fosse realmente básica."
(Holton, idem:19)

Holton se refere obviamente a Bohm, embora sem citá-lo, uma maneira pouco sutil de prejudicar o 'teórico'. Deixa os leitores atentos (ou os seus observadores) a identificarem sua (de Holton) preferência, que é a democritiana. É parcial, pois o final da citação crítica está incorreto. Vimos neste capítulo o valor que Bohm credita à teoria quântica enquanto básica; apenas ele não se contenta com suas limitações e pretende avançar sobre ela.

No eixo temático, o dissenso é forte componente. Holton enumera outros opositores ao primado do atômico, como Planck, Einstein, von Laue e Schrödinger. Salva-se da parcialidade, mesmo não gostando do 'teórico dos vórtices', dando a devida importância a esse debate milenar, de Demócrito versus Heráclito, que se exacerbou depois da formulação quântica. Ele inclui também a posição platônica, daqueles que não admitem a possibilidade de 'matéria fazer matéria',

como Heisenberg.

Os exemplos são didáticos, podendo e devendo ser trazidos para as salas de aula, pelo menos no terceiro grau. No ensino, mesmo no das teorias contemporâneas, prevalece a hegemonia, o consenso e a homogeneidade entre os cientistas.

Como, no eixo z, os elementos básicos, os pressupostos, não podem ser confirmados ou refutados como os do plano xy, o debate deverá acompanhar os homens de ciência, mesmo em épocas futuras. Novas teorias estarão inevitavelmente carregadas com essas tendências, essas idiossincrasias. Holton insiste no problema não para resolvê-lo, mas sim para buscar compreensão do campo sutil da 'estrutura das convicções'.

Com seus exemplares, o autor americano nos auxilia também a enriquecer a discussão sobre o conflito entre F&T, que estamos vinculando nesta tese. Além de confirmar o seu 'eixo z', está por exemplo localizando os adeptos dos fragmentos elementares de um lado, e também os adeptos do contínuo de outro. É a luta incessante entre tendências antitéticas nas proposições temáticas²¹.

Holton acredita que as tendências se cristalizam antes mesmo da profissionalização do cientista, para acompanhá-lo quase sempre, por toda sua vida.

Aprofundando seu modelo, com ênfase nos elementos temáticos, o historiador detém-se no par análise-síntese, aplicado a processos de diferenciação/integração dos temas. Extrapola os dilemas da Física, evocando pares presentes nos embates internos de outras ciências, inclusive moles, como a Antropologia e a Sociobiologia. São os pares: matéria e antimatéria, inanimado e animado, subjetivo e objetivo, sim e não, estrutura imutável (Parmênides) e fluxo (Heráclito). Um trabalho muito rico e pouco acessível a professores de CN.

Embora não faça aqui um aprofundamento da luta frente a esses pares, dado o interesse educacional de nosso trabalho, registro-os e localizo, em muitos de seus pontos, dimensões do problema da abordagem pelas partes ou pelas totalidades.

Clara está, para mim, a presença forte e marcante de elementos de 'crença, esperança, gosto, tendências' nos autores escolhidos. Tais elementos estão longe da pretensa objetividade tão imputada ao emreendimento científico. Se estão na consciência e na prática dos pesquisadores(não só dos nossos preferidos, os não-ortodoxos), como pode o empreendimento ser tão pleno de objetividade?

A 'consciência' para Eddington, o 'fluxo total' para Bohm, o 'tempo vivido' para Prigogine, são evidências do componente temático, do 'eixo z'. Uma releitura agora, de escrito de Bhom, aponta para o mesmo credo que Holton detecta em Weinberg. Transcrevo sem comentar: '*Na verdade, o homem sempre esteve procurando totalidades, no plano mental, físico, social e individual*' (ver item 2.3 deste cap.). Eddington também não é exceção. Transcrevo dele: '*Desde os primórdios, desenvolveu-se um sistema sensorial elaborado, de tal modo que nos apresenta em forma vivida, um mundo que se adapta à exigência mental de permanência (conservação)*' (ver item 2.2 deste cap.).

Alguns poucos temas são milenares. Este critério pode ajudar a identificar um traço importante

sua imaginação científica, para além da objetividade. Holton prefere não identificar seu 'insight' com uma proposta que levará ao consenso sobre a imaginação e o trabalho científicos. Mas lembra que a *proposição temática* torna clara

"a ligação entre as atividades científicas e os estudos humanistas e que poucos, até agora, estudaram."
(Holton, 1979: 20)

Numa de suas muitas ressalvas para a compreensão e analogias prováveis dos temas, ele alerta para que a análise temática não seja confundida,

"com alguma outra coisa: arquétipos junguianos, com a metafísica, com paradigmas e visões de mundo."
(Holton, 1979: 20)

O autor procura distinguir a sua contribuição daquela de Khun, muito mais conhecida, embora não o cite, com a postura pedante de criticar alguém sem se referir diretamente. Diz que paradigmas talvez encerrem elementos temáticos, mas que *'as diferenças são esmagadoras'*. Por exemplo:

"As oposições entre temas persistem durante a 'ciência normal' e os temas persistem através de períodos revolucionários."
(Holton, 1979: 20)

Concordo plenamente com a colocação. Muitos dos *temas* são do próprio homem na sua perplexidade frente à vida e ao mundo, muitos são os legados dos gregos, séculos antes da atividade científica moderna. Entretanto, como não pretendo aqui aprofundar as 'diferenças entre semelhanças' dentre as proposições de historiadores da Ciência, não prossigo nesta direção. Claro que este terreno é também um campo de disputas por hegemonias, com *prioridades temáticas*, no sentido que Holton empresta ao termo.

NOTAS E REFERÊNCIAS II

1. Consultar o clássico de Khun, T. S. 'A Estrutura das Revoluções Científicas' SPaulo, Perspectiva, 1976. Sobre o debate inicial entre epistemólogos a favor ou contra o conceito de 'ciência normal', ver : Lakatos, I.(org): 'A Crítica e o Desenvolvimento da Ciência'.S.Paulo, Cultrix/Edusp, 1970. Ver também, de Khun, T. S. 'La Tensión Essencial', México, Fondo de Cultura Económica, 1987.

2.- Consultar 'Britannica Great Books', vol. 34 'Newton-Huygens'. Chicago, 1971. No terceiro livro, "Optics", Newton lança suas questões, por não ter conseguido respostas, a partir da interação da luz com a matéria. A 'questão 31' (pp.531/544) é a última delas, a mais intrigante, sobre as 'relações, atrações, virtudes e poderes das pequenas partículas', à semelhança do seu modelo (particulado) de luz. Infelizmente, as 'questões' são pouco acessíveis aos professores de Física. É lendo-as que percebemos a extensão do pensamento do autor, suas conjecturas e desconfianças a respeito de tudo e de todas as relações da natureza. No mesmo volume é comentada, na Introdução, a polêmica com Leibnitz sobre os pioneiros do Cálculo Diferencial.

3.- A possibilidade de se conseguir a fusão nuclear a frio, isto é, sem a catalização por altas temperaturas/energias, foi aventada recentemente, por Fleysmann & Pons. Usaram eletrodos platinados e reação do tipo 'caseira', semelhante à eletrólise. Declararam ter obtido nêutrons, uma confirmação de que a reação é efetivamente nuclear. Uma ebulição tomou conta do cenário da pesquisa naqueles dias/meses. A Folha de S. Paulo, dentre outros periódicos, conseguiu cópia da primeira comunicação dos autores, anteriormente à sua publicação. O assunto inaugurou o caderno 'Ciência' desse jornal. Vários centros respeitados de Física confirmaram rapidamente, em inúmeros países, a reação. Como alguns centros igualmente respeitados não a confirmaram, a polêmica se instalou. A posição atual é cautelosa; parece ter havido excesso de otimismo dos autores, estimulados pela mídia. Consultar, por exemplo, "Ciência Hoje", n.52, abril/89, de Fernando de Souza Barros, sobre esse evento e sua crítica não dogmática.

4.- Eddington foi o responsável pela equipe de astrônomos/físicos ingleses que mediram o desvio da luz, previsto pela Relatividade, por ocasião de um eclipse solar. Ele esteve em São Tomé-África, outros estiveram observando a partir de Sobral, no Ceará. Consultar 'Caderno Catarinense de Ensino de Física' - Informe CENDOTEC, n.6. Ver também o vol.7 da mesma publicação, a crítica de Zylbersztajn sobre o primeiro artigo.

5.- A esse respeito, consultar 'The Running-Down of the Universe', in " Gateway to the Great Books, Enciclopedia Britannica", vol. 8, London, 1971.

6.- David Bohm é professor de Física do Birkbeck College da Universidade de Londres. Trabalhou no Brasil, na USP. Tem reconhecida contribuição no campo da Física Teórica: difusão de partículas, interação de plasmas com campos magnéticos, interação de elétrons com linhas isoladas de campo magnético (efeito Bohm-Aharonov, recentemente confirmado, possibilitando um campo novo de pesquisa dos materiais a nível hipermicroscópico, como a obtenção de hologramas a partir de feixe coerente de *elétrons*. Consultar sobre estes resultados e possibilidades, artigos e comentários em *Physics Today*, vol. 43, n. 1 e 4, jan. e ap/90). Contribuiu também em Física Experimental, na construção-criação do ciclotron e sincrociclotron. Em 51 publicou o clássico 'Quantum theory', iniciando o caminho crítico dos fundamentos da teoria. Publicou também 'The Special Theory of Relativity' em 1966. Discutiu com vários cientistas pioneiros dessas teorias, como Pauli e Einstein. Pode ser considerado um dos maiores físicos especulativos vivos. Seu 'Causality..., 1957/1984' é outro clássico, igualmente 'Wholeness...,1980'. Estas duas obras ainda não foram traduzidas para o português. Baseei-me fundamentalmente nelas para elaborar este capítulo. Segundo Weber(1986: 45), 'A ordem implícita é de infinita profundidade; Bohm propõe que em seus recessos mais íntimos se originam a matéria e a consciência, unificadas'. A teoria da Ordem Implícita está bem colocada, em resumo, na publicação de Brockman (1989, parte 5, pp. 228/235). Um livro instigante e criativo já traduzido para o português, mais recente, do autor em

conjunto com David Peat, é 'Ciência, Ordem e Criatividade', Gradiva, Lisboa, 1989. Dentre seus interlocutores externos à Física, alguns são místicos orientais como o Dalai Lama, outros pesquisadores da Psicologia Social de ponta como Ken Wilber e Stanislav Grof.

7.- Outro exemplo está na interpretação que Bohm faz do paradoxo de 'Einstein, Podolsky & Rosen', ou "EPR", das mais respeitadas e profundas. As recentes experiências que praticamente confirmam a 'não localidade de fótons', ou seja, a confirmação das previsões da teoria quântica comprometidas com as premissas do 'teorema de Bell' para a *realidade não local* a níveis microscópicos, são coerentes com a postulação de estados multidimensionais na conexão entre partículas, de Bohm. Consultar Brockman, 1989, parte 2, pp.74/79 e também Menezes, Tese de Livre-Docência, 1989, p.81.

8.- Consultar entrevistas de Bohm a Renée Weber, em 'Diálogos entre Cientistas e Sábios', SPaulo, Cultrix, 1986. No mesmo livro, encontram-se entrevistas com Prigogine (pp.223/243) e Hawking (pp.245/275). Defendem epistemologias e cosmovisões em parte convergentes, em parte contrapostas às de Bohm. Weber insinua, em várias perguntas a Bohm, a 'consciência enquanto estofo mental', de Eddington, e escolhe a afirmação para o mote do último capítulo de seu livro (p.279).

9.- Consultar Bernardes, N, Pré-print IFUSP, 1989, de onde foi extraído o artigo 'Física oscila entre os mitos de Apolo e Dionísio', publicado na Folha de S. Paulo, caderno 'Ciência', edição de 13/07/89.

10.- A referência básica para essa discussão com fundamento etimológico sobre as noções de medida, ordem e estrutura é Bohm, 1980, p. 118 principalmente, com tradução adaptada e comentários meus.

11.- Bohm, 1980, cap. 5, seções 5,6 e 7, pp. 121/139. .Ver também Bohm, 1989, cap. 1, pp. 27/88 , onde o autor detalha tais exemplos sem utilização de formalismo matemático.

12.- A correlação do conceito de ordem implícita com este ensaio é encontrada em todos os escritos recentes do autor, ou sobre sua teoria. Consultar, por exemplo, Bohm, 1989, pp.226/227; Bohm, in "New Scientist", nov/83; Brockman, 1989, p. 231.

13.- Prigogine (nobel de Química de 77) quer dizer que a universalidade da física clássica acabou, pois suas constantes '*universais*' podiam ser empregadas em qualquer escala, ao passo que, pelo menos por ora, as constantes das novas teorias são universais. Com outras palavras, Bohm e outros constataam essa diferença epistêmica, embora nenhum negue o papel revolucionário das teorias clássicas no seu tempo.

14.- É bastante comum, nos países anglofônicos, a classificação de 'hard sciences' para Física e Química, porque mais 'simples e objetivas', e 'soft sciences' para a Biologia e Ciências Sociais, porque 'mais complexas e menos objetivas'.

15.- Consultar Prigogine op. cit. pp. 499/502, exemplos são dados, consultar também *bifurcações* de uma equação não linear das mais simples e conseqüentes modelos aplicados a vários campos, em "Caos", de Gleick, 1990. e, em publicação científica, : Gordon, T.J. & Greenspan, D. 'Chaos and Fractals: New Tools for Technological and Social Forecasting', in '*Technological Forecasting and Social Change*', New York, vol.40, n.34, pp.01/25).

16.- Consultar por exemplo: Goldman, L. "Ciências Humanas e Filosofia" S.Paulo, Difel, 1980; Horhheimer, M. "Teoria Tradicional e Teoria Crítica", in '*Os pensadores*', Abril, SPaulo, 1983; Giroux, H. "Teoria Crítica e Resistência em Educação", Petrópolis, Vozes, 1986. Todos se referem ao método científico transposto indevidamente ao campo social. Porém, todos não tinham, pelo menos até os textos mencionados, familiaridade com essas novas posições críticas das Ciências Naturais que estamos discutindo neste capítulo. A impressão que sempre fica quando lemos esses escritos é a de que, para eles, todos somos invariavelmente indutivistas ou empiricistas, no máximo positivistas lógicos. Para minha leitura, eles não sabem ou não valorizam o que se passa internamente ao campo das Ciências Naturais, um campo fértil de debate epistêmico desde os anos 30.

17.- Holton, o primeiro doutor americano em História da Ciência, é professor de Física em Harvard. Participa intensamente dos debates epistemológicos atuais; estuda com profundidade situações ligadas à gênese de teorias, através dos originais dos pioneiros; são exemplos Millikan e Einstein. Coordenou o projeto "Harvard" para o ensino de Física, traduzido tardiamente em Portugal, muito pouco conhecido aqui no país, mesmo pelos professores de Física. Trata-se, seguramente, de um dos melhores, se não o melhor, projetos de ensino para a disciplina, dentre os estrangeiros.

18.- Os oito elementos sugeridos para o estudo do 'historiador, filósofo, sociólogo ou psicólogo da ciência' são: conteúdo, desenvolvimento conceitual na linha do contexto da justificação, aspectos pessoais na linha do 'contexto da descoberta', a trajetória temporal da atividade nas linhas da ciência 'privada' e 'pública', a psicobiografia do cientista, o ambiente sociológico, a influência mútua da cultura e das relações ciência-tecnologia-sociedade e a análise lógica do trabalho em estudo. O nono elemento é a perspectiva TEMÁTICA. Notemos que esse elemento, invade muitos dos anteriores; tão importante é para Holton que se impõe como uma das TRÊS DIMENSÕES de seu modelo para o empreendimento científico, a saber: eixo 'x'-empírico; eixo 'y'- analítico; eixo 'z'-temático. Está em Holton, 1979, "A Imaginação Científica", Rio de Janeiro, 1979, pp. 17/34).

19.- Weinberg, S. (in '*Scientific American*', vol. 231, n.1, julho 74). O pesquisador em Física de Partículas é tratado por Holton (com razão, em 74) como um sério adepto da teoria quântica, enquanto fundamental e básica. Atualmente, porém, Weinberg não vem se comportando desta forma. Ao contrário, está mais empenhado em investigar eventuais contradições da teoria. Consultar '*Physics Today*', jan/79, pp. 17/34.

20.- Uma excelente exposição didática do eixo temático como traço universal da pesquisa científica é feita por Holton na publicação 'Introducción a los Conceptos y Teorias de la Ciencia Física', Barcelona, Reverté, 1976. Consultar principalmente o cap. 14. Trata-se de livro didático que o autor indica para estudantes de 'áreas não científicas', esforço que, somado à valorização do componente temático, contrapõe o rótulo de 'internalista' atribuído ao autor por alguns. Outras publicações, mais especializadas, com destaque aos TEMAS, são: "The thematic imaginations in Science" in '*Science and Culture*', editado por Holton, Beacon Press, Boston, 1965 e, também do autor, "The Thematic Origins of Scientific Thought- Kepler to Einstein", Harvard Press, Cambridge, 1983, reeditado em 1980. Edgard Morin utiliza alguns dos elementos sugeridos por Holton ao analisar a 'complexidade'. Valoriza também bastante os 'themata' desse autor, enquanto núcleo obscuro no seio das teorias. Consultar por exemplo cap 1, em especial p. 18 de : Morin, E. 'O Problema Epistemológico da Complexidade', Publicações Europa-América, Men Martins - Portugal - sd.

21.- Sobre o debate entre *reducionistas* e *holistas*, Holton dedica um capítulo da edição principal que utilizamos (A imaginação científica - cap. 3: 'Dionisíacos, Apolíneos e a Imaginação Científica', pp. 84/104). Em síntese, combate os extremos das posturas holísticas, representadas pela 'bigorna dos neodionisíacos', e das reducionistas, representadas pelo 'martelo dos apolíneos'. Os autores escolhidos por Holton são influentes na cultura americana, sem nenhuma repercussão entre nós. Consultar nota 9 deste capítulo sobre o mesmo debate.

CAPÍTULO 3 - FRAGMENTAÇÃO E TOTALIDADE NO ENSINO DE CIÊNCIAS - DOMÍNIO PEDAGÓGICO

3.1- PRESSUPOSTOS E CRITÉRIOS TEÓRICOS

Neste segundo foco para o enfrentamento do conflito entre F&T, o das dimensões pedagógicas, procuramos estabelecer algumas ligações mais orgânicas com o primeiro. Ainda que os comentários sobre Educação em C&T tenham permeado o primeiro foco, por serem inevitáveis as contraposições em certos trechos do discurso, e também por estar priorizando o ENSINO DE CIÊNCIAS, neste capítulo esse conflito será o destaque sob o prisma pedagógico.

Compreendo a pedagogia enquanto teorias/reflexões que se debruçam sobre a crítica da educação, assim como a epistemologia é entendida como o conjunto de teorias/reflexões que critica a ciência.

Pelos resultados de formação, interesses e especialidades de cientistas de um lado, educadores de outro, essa ponte de ligação é pouco trabalhada, em prejuízo sobretudo do ato educativo. Tal distanciamento reforça a distinção entre 'Ciência dos Cientistas' de 'Ciências dos Professores de CN'.

Nosso campo de investigação é necessariamente interdisciplinar, pois 'ENSINO DE CIÊNCIAS'; ao enfrentar essa ligação que continua muito tênue, entre o epistêmico e o pedagógico, acredito estar contribuindo para o quadro teórico da área.

Os autores a que me referencio nesta segunda fase estão comprometidos com o seu tempo e com a educação para cidadãos. Admitem o papel relevante da educação escolar nas transformações sociais, embora não exclusivo, não determinante. Por consequência, defendem a renovação dos conteúdos, a alegria na escola, a abordagem de temas significativos para os alunos e professores. Da mesma forma, o papel das resistências que ocorrem no espaço escolar, o embate cultural, bem como as críticas à pedagogia tradicional e à radical.

Buscam uma nova racionalidade e um novo significado nas relações humanas de ensino-aprendizagem, não são curriculistas, mas não se furtam a discutir e propor direções norteadoras para novas proposições.

Como neste campo não faz sentido se exigir formação em CN dos autores, optamos por alguns que, de sua erudição, estão preocupados em contribuir em escala para as populações que, não tendo acesso ao saber sistematizado, convivem obrigatoriamente sob os condicionantes do 'senso comum'.

Em ambos os casos, temos autores que em parte se aceitam, em parte se criticam direta ou indiretamente. Essa opção, pelo não consensual em excesso, pela não unanimidade, nos parece importante para avançarmos nas discussões teóricas. Nas questões complexas da empresa interdisciplinar, esse traço - da não uniformidade - ressoa mais com a complexidade e as contradições do campo de estudo. Esse critério também foi adotado por ocasião da discussão epistêmica da tensão entre F&T.

Nas discussões anteriores sobre a tensão entre F&T, o papel da escola na construção do conhecimento pelos homens que fazem avançar a ciência e a epistemologia está implícito.

3.2- EDUCAÇÃO FUNDAMENTAL E PROFISSIONALIZAÇÃO

Por vezes, ao lermos escritos de cientistas, principalmente em textos de divulgação científica, ao estudarmos livros-textos de CN, mais ainda fechados no consenso do que os primeiros, pergunto-me se esses homens passaram pelas escolas que conhecemos. Ou se terão desenvolvido seu conhecimento sozinhos, quando muito auxiliados por algum tutor/preceptor acima de qualquer suspeita. Não é verdade; passaram pela escola que existe, similar à que todos nós freqüentamos. Mais, sendo em geral professores, nunca se desligam da instituição escolar.

Explicitamente, a trajetória escolar é uma ausência na maioria dos escritos de cientistas, mesmo de epistemólogos. Quando tocam no assunto, se referem a partir da sua graduação, como se fossem pré-selecionados desde a infância. Será que assim se consideram?

Com bastante assimetria, quando estudamos os educadores, constatamos que pouco ou nada é dedicado aos profissionais habilitados pela educação escolar, reconhecidos e legalmente aptos a exercerem profissões das mais responsáveis e arriscadas. A escola fundamental alfabetiza, a escola de medicina habilita, por exemplo, o cirurgião!

Prevalece neste campo pedagógico o coletivo dos educandos, a educação básica, fundamental e minimamente necessária para a cidadania. Quando se referem ao segundo grau, discutem a dualidade generalidade-profissionalização. Entretanto, não costumam explicitar que, nos dois casos, os responsáveis são 'PROFESSORES DE...', além de, ou simultaneamente a, EDUCADORES. Parecem negligenciar ou não atribuir o peso devido às necessidades profissionais, das mais 'simples' às mais 'complexas'.

Será esse mais um traço de formação, que demarca as opções dos estudiosos? Cientistas valorizam a formação especializada a partir da graduação; educadores valorizam mais a educação básica, aquela a que todos têm direito.

Cozinheiros, motoristas, costureiros, balconistas são profissionais que devem freqüentar com êxito a escola fundamental. Devem passar pela escola de segundo grau, sem excluir a possibilidade

de cursarem, quando desejarem ou puderem, o terceiro. Sua escola será básica inicialmente, será profissionalizante mais tarde.

Físicos, médicos, economistas, linguistas, antropólogos, passam pelos cursos superiores, até por condicionamentos legais. O conhecimento básico, fundamental, não é distinto, não deve ser até o final do segundo grau, dos demais profissionais. As especialidades se darão no curso superior.

A sociedade não é, contudo, composta somente por esses perfis profissionais. Como são escolarizados os técnicos especializados em eletrônica, informática, gráfica, agrimensura, em especial os professores de séries iniciais? Defensores da 'escola única' e da 'politecnia', parecem ignorar demandas sociais, parecem defender profissionalização somente no terceiro grau. Isto num país como o Brasil. Não se referem ao sistema educacional alemão ou italiano, por exemplo. Nesses países, a maioria dos jovens opta por um segundo grau profissionalizante. Tal opção não obstrui o ingresso nas universidades para aqueles que desejam prosseguir, nem os torna 'obtusos'. Ao contrário, são mais competitivos, mesmo quando seguem carreiras de terceiro grau.

Com isto, defendo que a qualidade da escola deve ser o foco da discussão e não a opção pela terminalidade ou continuidade.

Declarada minha posição frente ao problema da 'profissionalização', ressalto que uma questão anterior é mais relevante. Ainda não temos, no país, um segundo grau configurado. Num total de apenas cerca de três milhões de alunos matriculados, uma minoria 'pobrememente elitizada' constitui a sua população. É um número ridículo, mesmo quando comparado a países do Terceiro Mundo, como o Chile, Argentina, Coréia do Sul (consultar item 1.4 e nota 13 do cap.1) . Uma luta pela expansão do segundo grau, acoplada à sua reformulação por uma qualidade que ainda não temos, deve ser travada por todos os educadores comprometidos. O mesmo se aplica ao primeiro grau, nível ainda insuficiente para receber todos os alunos nesta idade, de qualidade sofrível e com índices de evasão e fracasso alarmantes.

Sem negar as dimensões acima levantadas, passaremos a apreciar propostas de educadores voltados para as teorias pedagógicas, aplicáveis no espaço escolar, que abrem espaço para o enfrentamento do conflito entre F&T na sua dimensão pedagógica.

Escolhemos autores contemporâneos estrangeiros, que têm contribuído para as questões complexas da educação, na busca de teorias radicais no terreno pedagógico. Educadores brasileiros serão lembrados e discutidos, dada a contribuição que muitos vêm prestando e, também, dada a necessidade de contextualização de nosso espaço escolar. Se por um lado proposições teóricas não necessitam maiores ligações com nacionalidades, por outro as ações educativas estão fortemente comprometidas com as relações sócio-culturais e econômicas de cada país e região.

Com relação aos níveis de escolaridade, já anunciei a preocupação com todos eles. Esta não é uma tese localizada, voltada para algum nível em especial. Claro que, para fins de Ciência para a cultura brasileira, hierarquizei preocupações a partir do primeiro grau. Este espaço enorme e

contraditório está aberto para se investigar e contribuir com a perspectiva da alfabetização científica e tecnológica. Dentre as alfabetizações que hoje podemos conceber, está aquela que inicia os caminhos da compreensão em C&T; esta alimenta e enriquece outras mais fundamentais, como a alfabetização na língua materna e na matemática ¹.

Uma ligação, ou imbricamento, com os comentários e pressupostos lançados no capítulo primeiro desta tese é também buscada. O tecnológico e o científico amalgamados no universo cultural, mediatizados no espaço escolar, espaço privilegiado de troca de saberes, estão mais aprofundados nos itens a seguir.

3.3- OS DOIS NÍVEIS DE CULTURA E A EDUCAÇÃO ESCOLAR

"É a cultura elaborada que pode, melhor do que a cultura primeira, atingir os objetivos, isto é, finalmente as satisfações da cultura primeira." (Snyders)

Países com tradição liberal em educação, como a Inglaterra e os EUA, oferecem opção aos alunos, ainda em idade precoce. Há currículos diversos, com escolha pelos alunos, onde o desempenho assume um papel importante. Em particular, os americanos enfrentam muito pouco os cursos de CN, porque, na escolha livre, 'fogem dessa área'. Os resultados são cada vez mais preocupantes para um país que deseja disputar a vanguarda em C&T. Estudos recentes denunciam a falta de compromisso do sistema escolar para com o conhecimento em CN. São divulgados até em revistas de grande circulação ².

As pressões para o conhecimento crítico em C&T são cada vez maiores, mesmo nos países que mantêm prioridade ao ensino das chamadas 'artes liberais'. Tendências recentes que demandam intensa conscientização e participação, como a da 'educação ambiental', reforçam essa necessidade.

Um exemplo de extremismo liberal é o de Bertrand Russel, que pouco escreveu sobre educação, mas sempre defendeu a livre escolha. Admitia, como a maioria dos intelectuais, dois níveis de cultura, hierarquizando-os fortemente. Acreditava contudo que 'um aluno deveria decidir sozinho pela necessidade de estudar Shakespeare'. Certa ocasião foi questionado, dados os perigos dessa confiança. Replicou que 'se a criança se decidir por não estudar Shakespeare, então ela não deve passar pela escola'. Curiosa conclusão, curiosa atribuição à capacidade infantil de decisão, curiosa exclusão! ³

Países como a França detêm a escola centralizada, com currículos obrigatórios e mínimos estabelecidos. Com certa semelhança situa-se a Itália.

No Brasil, verificamos características mais próximas do ensino centralizado do que do liberalizado. Em cada região, existem semelhanças entre os currículos mínimos obrigatórios, as ementas e os programas. Ainda que não centralizados pelos órgãos federais, o primeiro e segundo graus são relativamente homogêneos. Pelo menos nas intenções das grades curriculares, obrigаторiedades e programas de disciplinas.

Pela leitura dos livros didáticos, percebemos essa homogeneidade. É verdade que estes são pautados por deficiências várias, quando não pautados pela mediocridade. Tais livros didáticos atingem ampla escala; acabam por forçar e enquadrar o trabalho da imensa maioria dos professores no país. Livros didáticos são poderosos.

O conceito brasileiro de cultura é preso à erudição, quase sempre valorizando elementos de retórica. Consiste, como já vimos no capítulo 1, em um dos traços de nossa educação, de origem clerical e excessivamente elitizada. Cultos são os ungidos, doutos e sábios, muito distantes da massa de cidadãos.

Recentemente, uma considerável parcela de educadores influentes vem destacando o conceito antropológico de cultura, sem deixar de localizar as diferenças entre cultura popular e cultura elaborada, ou mesmo erudita. Há os que defendem a 'educação popular' para os filhos da classe trabalhadora, porque valorizam sobremaneira a 'cultura popular'. Na outra ponta estão aqueles que defendem a cultura elaborada, burguesa, para os filhos da classe trabalhadora, argumentando que essa posse é essencial para as transformações sociais ⁴.

A questão não é fácil, porém a meu ver cabe à escola enfrentar os conflitos entre as culturas, que Snyders qualifica de 'cultura de nível primeiro ou cultura primeira, e cultura de nível elaborado ou cultura elaborada'. É para as proposições do educador francês que voltarei, buscando o reforço teórico-pedagógico. Para minha compreensão, é destacadamente aquele que melhor discute e enfrenta o conflito entre as culturas.

O conflito entre os níveis de cultura também pode ser localizado como uma das facetas da tensão entre F&T, no plano pedagógico. Este está imbutido naquele. Duas culturas com transição que exige ruptura para saltar de uma (primeira) para a outra (elaborada), sem perder as práticas e os prazeres da primeira. Existe uma *totalidade* entre as duas culturas, acessível a quem detém a cultura elaborada, ao passo que essa totalidade inexistente para as maiorias que não têm acesso à cultura elaborada.

O universo da cultura primeira está aprisionado aos fragmentos, ao 'senso comum' de Gramsci, o universo da outra está livre para atingir dimensões novas de totalidades conquistadas e renovadas.

Snyders, educador que influenciou bastante seus pares brasileiros, avança cada vez mais na reflexão sobre essas questões. Defende a conquista da cultura elaborada no espaço escolar da educação formal. Concordamos plenamente com essa premissa, junto à sociedade brasileira. Snyders não deixa de comentar as duas funções precípuas da escola, formação geral e particular,

ou profissional. A crítica que levantamos aos educadores no início deste capítulo não se aplica a este autor.

Trata-se, para ele, de se conviver, na escola, *com a alegria do obrigatório, com a sistematização dos conhecimentos através da continuidade e da ruptura, com os elementos da cultura primeira, em busca da cultura elaborada.*

Está claro que me apóio em mais um pensador que não está vencido pelo pessimismo. Ele admite, reconhecidamente com certo grau de utopia, a possibilidade real do pedagógico transcender seus pobres resultados da atualidade. Se é pobre na França, é paupérrimo entre nós.

Devemos, segundo o autor, levar em conta a cultura primeira dos jovens. Em França, cultura massificada, para todos os jovens, incluindo estudantes descendentes de imigrantes, miscigenados, de "franceses asiáticos e 'pieds-noirs'", também de árabes, africanos e asiáticos emigrados desde os anos 50. Apesar de lutar para a socialização da cultura elaborada, Snyders não abandona nem nega a primeira. Pelo contrário, o ponto de partida será sempre desta última.

Lembremos que o apreensível e utilizável, muitas vezes descartável, dos resultados de C&T se localizam, para as maiorias, no universo do primeiro nível de cultura. O que defendemos é a transição para o domínio crítico, a inserção cultural só possível nas dimensões do segundo nível. Essa transição não é contínua, muito menos linear; exige rupturas e disto estamos convictos.

Em resumo, o universo efetivamente rico de C&T está nos domínios da cultura elaborada.

Snyders enfatiza os seguintes desafios a serem abraçados pela escola: *RENOVAÇÃO DE CONTEÚDOS; ALEGRIA E CULTURA; ESCOLA PARA TODOS, EM PARTICULAR PARA OS MAIS DESPROVIDOS* (Snyders, 1988).

Apesar de não fechar propostas efetivas, nem sugerir 'grades curriculares', o educador centraliza o debate das metas escolares nos conteúdos a serem ministrados. Renovados, para que se tornem significativos, porém sem nunca deixar de valorizar a cultura elaborada. Críticas à modernização dos métodos de ensino e ilusões que possam acobertar os problemas da educação, à não diretividade do ensino, estão sempre presentes nas obras desse autor (Snyders, 1988, 1978, 1974).

Um conceito preciso e lúcido de laicidade é defendido pelo autor, assim como a abordagem consciente de assuntos conflitivos. No seu cenário social, destaca o racismo, o amor, a partir da percepção imediata da cultura primeira.

Em particular, para meu interesse mais direto, ele defende a transferência para a escola do 'fascínio que os jovens revelam para o seu universo tecnológico'. Tem tamanha vontade de trazer a verdadeira alegria para a escola, que não esconde até um certo ciúme do prazer que a juventude manifesta pelos 'gadgets' que estimulam as 'bricolages', pelos esportes, música tipo 'rock'; gosto que nunca, ou quase nunca, é manifestado pelos assuntos tratados na escola, ou pela escola. Defende igualmente o estudo crítico do 'balanço risco/benefício' das contribuições da C&T à sociedade.

Alguns aspectos não são suficientemente esclarecidos nos escritos desse educador, mesmo consideradas a clareza e a força dos seus argumentos. Por exemplo, alguma lacuna na escolha dos critérios para se identificar os 'conteúdos renovados'; as situações exemplares, quando dadas, não são potentes a meu ver, nem novas. Parecem até se aproximar das proposições de Freinet, com a ressalva de manter os parâmetros rígidos e até coercitivos da escola intactos. Às vezes um tanto tradicionalista, às vezes voltado para metodologias e posições libertárias, quase defendendo o 'aprender fazendo'. O terreno dos exemplos e sugestões é sempre perigoso.

Professores aptos a trabalhar o desafio de tornar acessível a cultura elaborada são raros, mesmo na França. O autor fala pouco, deixa nas entrelinhas, as necessárias transformações dos cursos de formação dos professores; parece que confia na mudança de postura dos docentes a partir de debates e esclarecimentos. Portanto, há mesmo uma boa dose de utopia, embora de valor teórico enorme.

Snyders sugere grandes temas para o ensino mas discute pouco a contrapartida: o saber e a convicção de professores para abordarem tais temas.

O saber específico dos professores, formados pelos parâmetros fortes da fragmentação, dificulta as visões de conjunto das abordagens temáticas. Eu gostaria de ler algo mais explícito com relação a essa contrapartida.

Vejo também nas preocupações do autor a formação dos professores, a busca de seus interlocutores e pares. É convincente quanto à adoção do viés temático, da interdisciplinaridade, mas não deixa nunca de lado o rigor dos estudos, o aprofundamento. Em minha opinião, ainda que não explicita, ele prefere o conhecimento crítico e articulado pelos docentes. Conhecimento orgânico, para que o professor não se intimide, para que estabeleça pontes de ligação entre os distintos níveis de cultura.

A competência técnica não está em discussão para Snyders; seu requisito é para uma nova competência.

Ele costuma perguntar aos alunos da primeira adolescência se a escola é "*legal*". Como sempre, respondem ecoando o padrão adulto, com chavões do tipo: "É importante porque mais tarde...sem ela não terei chances...". Ele insiste: "Mas afinal, responda como você se sente em relação à escola, ela é mesmo *legal* ou não?" Os alunos se embaraçam...

No entanto, o autor lembra com toda a força que eles vivem o melhor de suas vidas na escola. Cobra dívidas da instituição. A questão, simples e brilhantemente colocada, é:

A escola e o curso dão a alegria que legitima os esforços por ela reclamada?
(Snyders, 1988: 61)

Como se estivesse sonhando, ele mesmo estimula os alunos, com apoio num provérbio inglês: "O objetivo é ser feliz, o momento é agora, o lugar é aqui". Sugere, em linguagem compreensível para eles, a *rebeldia* como antídoto aos conformismos das respostas do padrão adulto.

Um dos pressupostos é uma escola que aposte tudo nas exigências culturais mais elaboradas, com uma extrema ambição cultural. Pressuposto de Snyders, para quem:

"na alegria, é a totalidade da pessoa que progride".
(idem, ibidem :19)

A cultura dá satisfação, as reações podem ser distintas, tanto pelo nível da obra em interação com indivíduos ou coletivos, como pelas sensações/emoções/envolvimento dos indivíduos ou coletivos. A escola joga um papel fundamental nessas interações. Ele provoca os educadores, lembrando que

"a gente chora e ri no cinema ou ouvindo certas músicas. A gente chora ou ri num museu ou diante de uma sinfonia clássica?"
(Snyders, 1988: 32)

As alegrias do cotidiano podem inspirar bastante os educadores. Por exemplo, a 'consolação materialista' dos homens para com a concreteza, certa emoção com 'a batata cozida descascada e a água que escoar ou repousa no copo'. Similarmente, discute a alegria advinda das novidades mecanicistas, das realizações técnicas, da sedução a que os jovens são levados pelos objetos industrializados.

Tais alegrias e perplexidades quase nunca são atingidas nos cursos escolares. Muito menos os aspectos extremos de alegria do cotidiano são vividos dentre muros escolares.

Há dois níveis de cultura, constatar isso não implica negar nenhum deles. Claro que devemos estar alerta para o pedantismo cultural;

"não sejamos como aqueles que admiram uma coluna de um templo babilônico e desprezam a chaminé de uma fábrica."
(Snyders, 1988: 46)

É a cultura elaborada que permite as ligações históricas e a conexão, tanto das múltiplas extensões do homem no presente, como das construções e evolução no passado. Dada a dificuldade de se justificar e fundamentar esses laços históricos, todos temos necessidade de uma cultura elaborada, segundo o autor. Se, por um lado, o primeiro nível de cultura traz o belo, causa alegria e interage fortemente com os homens, ele, por consequência,

"instala-se com tanto prazer no atual, que não consegue integrar o passado."
(Snyders, 1988: 48, destaque meu)

E, para retomar criticamente as 'emoções cinematográficas', ou no Brasil as 'emoções das novelas', adverte:

"(...) o mundo difundido onde o real mistura-se tão de perto com o fictício acresce por isso mesmo seu caráter de espetáculo, e um espetáculo olha-se, mas não se prepara para intervir a fim de transformá-lo."
(idem, ibidem,: 38)

Cabe então à escola conduzir a luta cultural, diante do difícil cultural, diante da indústria cultural. Luta em que devemos nos engajar, conscientes de que:

"em todos os domínios, as grandes obras são de difícil acesso, porque atrapalham, atacam as idéias, os sentimentos e os modos de ação considerados como evidentes, naturais."
(Snyders, 1988: 59)

As contribuições de Gramsci são fortes referências para Snyders. Este lembra do valor da História nas proposições do pensador italiano, a História que 'vai ajudar a avaliar a soma dos esforços e de sacrifícios que o presente custou ao passado e que o futuro custa ao presente'(Gramsci, apud Snyders).

Neste sentido, ressalto que as construções da Ciência e da Tecnologia (não é consumo do tecnológico, insisto) são difíceis. São difíceis não porque o esnobismo de muitos professores pretende, ao debocharem da maioria dos alunos por ' não serem do ramo'; difíceis porque atrapalham o raciocínio natural, ingênuo e espontâneo dos estudantes. Difíceis porque encerram lógica e consistência que o 'senso comum' não exige. Só para exemplificar, com auxílio de algo considerado 'elementar' em Física: a lei da inércia é mesmo muito difícil!

Não obstante, seus produtos, estimulados pela cultura de consumo de massa, são assimilados com certa facilidade, incluídos os bagulhos tecnológicos, os engodos do tipo 'relógio digital e analógico' que só servem para confundir mais ainda a cabeça de confusos. Também as dezenas de marcas para o mesmo produto (calçados tipo 'tênis' no capitalismo periférico brasileiro) e, o que é mais grave, milhares de remédios 'milagrosos' propalados pelos meios de comunicação. Estamos, enquanto educadores, na fileira de combate a esses abusos, via conhecimento e exercício de crítica. Esta 'facilidade' precisa ser combatida, aquela 'dificuldade' valorizada.

A dificuldade não implica a impossibilidade. O pedagógico tem a responsabilidade de criar alternativas para a superação deste desafio e dos conflitos decorrentes.

Para além das críticas ao nosso capitalismo periférico, quase um jogral entre os educadores brasileiros, penso que um aspecto demarcador essencial é a não separação do trabalho manual do intelectual na escola. Isso é bastante difícil na escola brasileira. Persistem os ranços de uma cultura inacessível, veiculada por conteúdos mortos, estáticos e que parecem contribuir mais pela separação dos dois trabalhos do que pelas intenções de acoplamento.

Os pouco escolarizados no Brasil, somados aos nada escolarizados, as grandes maiorias, se põem a admirar os homens cultos, não admitindo que a cultura é um bem acessível a eles. Snyders comenta esse ponto, também refletido por ele junto aos franceses; empresta uma frase de Sartre, para quem 'a admiração é voto de imitação; a indignação, voto de mudança.' Assim, a maioria que tem acesso à educação básica terá mesmo aptidões muito mais para a admiração e muito menos para a indignação. Mudanças parecem distantes, quase inatingíveis.

No entanto, as grandes maiorias percebem a necessidade da educação fundamental e querem que seja oportunizada a seus filhos; percebem talvez sem tanta clareza que, para transcender, para se atingir os níveis de cultura admirados, a escola é o único palco. Snyders é otimista, pelo menos com relação à sociedade onde vive. Diz:

"É o povo que vê certo quando tem a ambição de adquirir ele também a cultura elaborada e que luta para que seus filhos deixem de ser excluídos dela."
(Snyders, 1988: 145)

Na contramão, encontramos alguns representantes da cultura elaborada que se satisfazem com a diferença, por má-fé ou ideologia. Não nos referimos à classe média moderna embotada, que tem como um de seus lemas 'ser o povo feliz porque não pensa, não percebe seu sofrimento'. Estes também precisam muito de uma educação dos conteúdos renovados. Falamos dos cultos, como fala o autor:

"Quando uma pessoa culta afirma que a cultura primeira é também tão conveniente e suficiente quanto a cultura elaborada (das obras-primas), tenho sempre medo que não seja dito que é suficiente para os outros, para os filhos dos outros e finalmente das outras classes."
Snyders, 1988: 145)

Estas separações exageradas e indevidas estão na fonte do discernimento das pessoas; socialmente são uma manifestação do conflito entre F&T. A resposta é dada pelo autor, que não perde seu tempo com o problema, arrematando:

"Pode-se levar a sério essa gente?"
(Snyders, 1988: 145)

Snyders se apóia muito em Gramsci, como já afirmado. O teórico italiano considera o 'sentimento comum' das maiorias. Tal sentimento ou senso possui um núcleo de 'bom senso', que precisa ser identificado e 'retirado' pelos 'intelectuais orgânicos'. Ainda, lembra que o senso comum é um mosaico de heranças anacrônicas que pode levar ao conservantismo, a enormes contradições e à resistência ao novo.

A sequência continuidade-ruptura é creditada a Bachelard, efetivamente um dos pioneiros em destacar essa categoria. Contudo, verifico parentesco também com autores não citados, como

Lucien Goldman e Paulo Freire, em especial quando estes consideram os 'níveis de consciência' e sua transição, da 'superficial à profunda' ⁵.

Dentre educadores e filósofos preocupados com o papel da educação, existem 'semelhanças nas diferenças', também 'diferenças nas semelhanças'. Isto se verifica, mesmo ao considerarmos somente aqueles comprometidos com a 'educação que queremos', aqueles que explicitam 'de que lado estão'. Não aprofundamos essa discussão porque tem sido contemplada por vários educadores no Brasil, incluídos especialistas em ensino de CN, como Zanetic e Delizoicov. Estão sintonizados com a referência maior em que me apóio, o Snyders mais recente, da 'Alegria na Escola'.

Voltemos ao conflito entre as culturas. Em contraposição às contradições e às características de não totalidade do mosaico da cultura primeira, o educador francês insiste em 'manter as duas pontas da corrente', de maneira a:

"Englobar o vivido cotidiano em sínteses onde ele assume seu sentido pleno, até o ponto em que poderei sentir a ligação entre as perguntas que faço e as perguntas que o mundo faz."
(Snyders, 1988: 93)

Nossa dívida como privilegiados que transitaram para o nível elaborado de cultura é fortemente cobrada pelo autor. Enfatiza que o esforço deve ser no sentido de devolver, com precisão, o que as pessoas despossuídas dizem com confusão (Mao Tse Tung e André Malraux, apud Snyders, p.95).

Esta dívida é também cobrada por Freire, desde seus primeiros escritos. Por exemplo, assinala que, depois de uma equipe de educadores elaborar um material didático, apoiado em conteúdos vinculados a uma temática inicialmente proposta pelos educandos,

"estará apta a devolvê-lo ao povo, sistematizado e ampliado. Temática que, sendo dele, volta agora a ele, como problemas a serem decifrados, jamais como conteúdos a serem depositados."
(Freire, 1980: 137)

Os 'conteúdos depositados' de Freire são 'pílulas' para Snyders. Os 'problemas a serem decifrados' do primeiro é um dos desafios enfatizados pelo segundo. Escola muito valorizada pelos dois, onde a luta deve ser travada; escola muito criticada por ambos, por não dar conta de suas responsabilidades, de manter compromisso com elites e virar as costas às maiorias. É certo que Freire a critica mais, indignado pelas contradições do contexto brasileiro, de longe mais problemático do que o francês.

Então, o compromisso claro do educador é contribuir, com reflexão, ação e engajamento, para o acesso dos escolarizados aos ganhos culturais, às portas e aos salões dos templos da cultura elaborada, sem a pretensão de guiá-los com viseiras.

E, quanto aos atos pedagógicos acompanhados de reflexão crítica, é bom o educador ter sempre em mente que

"a cultura não está fora de alcance, uma consequência fundamental para o pedagogo é que nada se opõe a que ela seja proposta a todos."
(Snyders, ibid, 1988: 95)

Embora tendendo para as necessárias aquisições, pela maioria, dos elementos e conjuntos típicos da cultura elaborada, onde C&T se enquadram, o educador francês não mistifica nem revela tendências pela ciência 'desinteressada'. Ao contrário, pela tecnologia como domínio cultural, pelas máquinas com sua força humanística ⁶.

Nos exemplos para abordagem didática, Snyders propõe grandes 'temas' para estudo. Temas no sentido de tópicos que refletem contradições nas relações culturais. Sua primeira proposta é a partida 'dos pequenos trabalhos domésticos aos técnicos'. Toda a atividade calcada na categoria do trabalho joga um papel mais relevante para o autor. Assim,

"da habilidade à reflexão, convidá-los (os alunos) a não serem simples consumidores diante do mundo técnico(...). A vulgarização técnica, nobre tarefa escolar, tarefa urgente de renovação escolar(...). A atividade do trabalho fundamenta as concepções de mundo, mas solicita, ela mesma, explicitação."
(Snyders, 1988: 122)

Prosseguindo, sem hierarquizar conhecimentos quanto à qualidade, mas não negligenciando que se trata de conhecimentos distintos, Snyders propõe os seguintes assuntos como fundamentais para uma educação crítica:

- a *consciência política*, trabalho didático mais diretamente ligado aos cursos de História e de Ciências Sociais, embora nunca desvinculado, muito menos em oposição, ao trabalho didático de CN;
- a *consolidação da materialidade*, que se dá mais pelos esportes e Educação Física, espaço privilegiado para se canalizar a energia disponível dos alunos e para se enfrentar sua agressividade e, finalmente, não menos importante;
- o *belo*, incitando para que o desejo estético ultrapasse seus limites, entender o gosto pelo rebuscado e o acúmulo de objetos da cultura popular, para daí não haver rejeição ao domínio sofisticado das artes. Tarefa mais voltada para o ensino das línguas, das artes que incluem a poesia

Nessas proposições temáticas, temos bastante conteúdo a ser renovado, para a reconstrução de conhecimento a ser priorizado na escola. Tarefa urgente da educação escolar!

A conexão dos assuntos tecnológicos com os de CN em nossos cursos adquire uma perspectiva de formação sistêmica, mantidas as distinções entre os dois empreendimentos. Fazemos analogia com o pensamento de Snyders, que, seguramente, não possui referencial apoiado em 'teorias de sistemas tecnicizados'. Ele afirma que

"a cultura primeira forma um sistema com a cultura elaborada."
(Snyders, 1988: 321)

Eventuais relações que alguns inadvertidos possam fazer entre os escritos de Snyders e 'conteúdos úteis, no sentido restrito de utilitários', dos adeptos do ensino para a 'prática, tanto na vida como na profissão', não estão autorizadas. Ao final do livro em discussão, ele se remete à contraposição dialética, afirmando:

"A imensa maioria dos conteúdos culturais não servirão, tais como são, para a sequência da vida."
(id.ibid: 273, destaque meu)

O tecnológico presente, com a alegria presente, a apreensão crítica dos fundamentos que ancoram a produção tecnológica, os princípios e leis das CN, são chaves para nossas proposições. São chaves também para o educador francês, na sua visão geral do processo educativo.

As divisões do saber, as fragmentações sem exageros nos recortes, são admitidas por ele ao discutir seus Temas. São totalidades que devemos perseguir, é a convivência com as duas culturas, prioritárias. Totalidades que não se consegue ao se excluir o tecnológico que permeia o social.

Não há caminho facilitador; ao contrário, honestamente, ele desafia:

"O sistemático, o difícil, obrigatório, traços da escola que devem ser mantidos e mesmo ampliados. Ao mesmo tempo, transformá-los a partir de conteúdos renovados para a satisfação cultural; quero o obrigatório e a alegria presentes, o difícil e a alegria presentes."
(id.ibid.: 210)

Eu também quero! Essas afirmações lúcidas e corajosas em tempos que ainda são próprios para colecionar as mazelas da educação, são cruciais para reflexão e polêmica em nosso país.

Aqui, tem-se facilitado, às vezes sob nosso silêncio, às vezes sob nosso protesto, as 'progressões e os sucessos' dos alunos despossuídos, como se estivessem, os educadores, eliminando magicamente o difícil, o obrigatório e o sistemático. Fala-se e escreve-se muito sobre a 'evasão-expulsão escolar', mas relativamente pouco sobre 'as facilitações, os empurrões, a eliminação

scínica das avaliações porque reprovam'. Nos intervalos, boa parte dos professores continua a praticar a choradeira preconceituosa habitual da 'falta de nível dos alunos despossuídos'.

O que nos atinge como um soco, forte pancada, e remete diretamente às nossas contradições, enquanto educadores brasileiros vinculados às propostas progressistas, é a crítica de Snyders a essa postura, também encontrada em seu cenário, o europeu, nas devidas proporções. Adverte a todos:

"Renunciar a conduzir as crianças populares às formas elaboradas e difíceis de cultura (...) é desprezar o povo."
(id.ibid.: :211)

Temos, então, elementos do campo complexo da educação concentrados no conflito entre níveis de cultura, que são reflexos da tensão maior entre F&T. Por exemplo, uma só cultura versus dois níveis complementares mas não comutativos de cultura.

São complementares, porque formam, os níveis primeiro e elaborado, um sistema, uma totalidade. Não comutativos porque o conjunto só pode ser alcançado por aqueles que detêm o nível elaborado, porque nunca abandonam as 'alegrias' e a prática cultural do primeiro nível. A maioria que se mantém neste primeiro nível não percebe a totalidade. Consideram o nível elaborado uma 'outra coisa, de outra natureza e espécie, inatingível'. A tarefa maior da escola é esta, a de tornar possível para a maioria essa impossibilidade.

No terreno pedagógico, da teoria da educação, a 'simplicidade' do epistemológico não se aplica. Porém, nas dimensões complexas do fenômeno educativo, no campo do ensino de CN para os ganhos culturais, sem o enfrentamento desse conflito entre culturas, corremos o risco de encontrar soluções facilitadas, metodológicas e simples, como a história recente do ensino de CN tanto revela ⁸.

A separação excessiva entre Ciência e Tecnologia é também reflexo de um conceito restrito de cultura. Praticado muito no país, inclusive por cientistas e tecnólogos, não vem contribuindo para avanços no terreno do ensino de CN. Há também uma totalidade, um sistema, de empreendimentos complementares, não comutativo, entre C&T.

3.4- A PEDAGOGIA RADICAL E A NOVA RACIONALIDADE

Uma dificuldade que encontro em Snyders é a falta de precisão quanto aos níveis de escolaridade. Já nos referimos ao relativo descompromisso de educadores para com as profissões, os cursos que habilitam (ver item 3.1 deste cap.). Parece ser tudo, ou quase tudo, dirigido à educação fundamental. Sim, mas de quanto tempo de escolaridade? Por exemplo, na França, a educação fundamental é considerada até o exame do 'bachalaurèat', final do segundo grau. Isto não se transfere para o Brasil.

Quando contempla a escola chamada politécnica, Snyders a adjetiva (como característica da educação de países socialistas), daí sugerir não ser concebível ou disponível enquanto vantajosa para a população, no ocidente. Faz estudos comparativos entre matrículas de filhos de trabalhadores nos países europeus, do leste e do oeste. Como a comparação me parece não aplicável à educação brasileira, não consigo entender certas transposições da discussão para nosso cenário.

Reconhecemos todos um bom espaço de discussão, a favor dessa 'tal de politecnia' dentre especialistas (em pedagogia) no país. Há mesmo aqueles que a defendem, imputando qualquer grau de profissionalização às empresas.

Posição discutível, porque empresa faz, no máximo, instrução, quando não faz adestramento. Escola pode fazer educação profissional, como faz a italiana e a alemã! Gostaria de ver maior presença destes exemplos nessas discussões, pois elas não vêm sendo contempladas. Depois dos eventos de 89, no leste europeu, se torna mais necessário discutir estes exemplos.

Defendo, como tantos outros, o necessário, consciente da não suficiência. Todos na escola pública, gratuita, unitária, rica em conhecimento renovado e crítico, plena de conteúdos articulados, relevantes, fundamentais.

O palco principal é mesmo a escola fundamental, no Brasil, ainda o primeiro grau, com expansão dos direitos e garantias cada vez mais na direção do segundo grau, como preconiza nossa Constituição. Qualquer cidadão, qualquer profissional, terá então à disposição a base de conhecimento aberta para viver e participar de seu tempo. O ensino de CN é parte desse conjunto de conhecimentos. Sem ele, os objetivos mais nobres da educação não serão alcançados.

Claro que, com o atual ensino de CN, em geral mistificado, exótico e inacessível às maiorias, não vem ocorrendo avanço significativo. As 'ciências dos professores, dos currículos e dos alunos' estão distantes demais da ciência que privilegiamos neste trabalho; a racionalidade em que se baseiam aquelas ciências está igualmente distante da 'nova racionalidade' da ponta epistêmica.

Se ficarmos somente com Snyders, educador escolar por excelência, estaremos restringindo as possibilidades dessa ligação. No campo das teorias educacionais, alguns teóricos vêm avançando categorias que Snyders não utiliza, pelo menos explicitamente.

Por exemplo, os conceitos recentes de 'currículo oculto', 'resistência', 'nova racionalidade', bem como 'as demandas do indivíduo não eliminadas pelas demandas do coletivo', estão pouco evidentes, com algumas ausências, nos escritos desse autor. Estão muito mais nos de Apple (1979 e 1989) e Giroux (1984 e 1986).

Escolho Giroux por entender sua posição como mais avançada e amadurecida, além de crítica ao pedagógico, inclusive ao pedagógico progressista. Mais ainda, porque, dentre os educadores que vêm buscando inspiração nos teóricos críticos (da chamada Escola de Frankfurt), ele é um bom representante. Apóia-se mais nos pioneiros da escola do que em Habermas, que é mais conhecido pelos educadores.

A *cultura* é também privilegiada por esse autor, assim como a racionalidade e outros, com a finalidade de buscar uma teoria radical pedagógica em favor das maiorias. Mostra-se atualíssimo em suas leituras, disciplinado, erudito com posição aberta, e identifica-se como 'neomarxista'. Giroux foi professor secundário por sete anos; pode falar com autoridade das relações em sala de aula. Quase obsessivamente, está constantemente voltado para a *educação emancipatória*. Na bonita expressão a seguir está embutida uma questão-chave trabalhada pelo autor:

"Como é que nós tornamos a educação significativa, tornando-a crítica e como é que nós a fazemos crítica, tornando-a emancipatória."
(Giroux, 1986: 16)

O encadeamento de múltiplas influências caracteriza um forte traço da reflexão desse educador. Educação emancipatória implica educação significativa e crítica. Não se chega gratuitamente a ela, não há atalhos.

Justifica o recurso teórico dos pioneiros críticos, porque deseja uma teoria que tanto revele como rompa com as estruturas de dominação existentes, pressuposto dos pensadores alemães, com restrições ao dogmatismo excessivo do marxismo ortodoxo. Giroux comenta que a Escola de Frankfurt

"argumentava contra a supressão da 'subjetividade', da consciência e da cultura na história."
(id. ibid: 23)

Os teóricos críticos, sobretudo os pioneiros, não pouparam as responsabilidades de C&T no seu grau de envolvimento com a alienação dos povos. O Iluminismo acabou sendo autoritário, substituindo dogmas religiosos por dogmas científicos.

Sintonizados com as novas descobertas da Física na década de 30, Adorno e Horkheimer anteciparam que 'o simples é complexo'. Porém, de um pessimismo sem par, acabaram sendo também questionados pelo impasse que associaram ao homem. Temos, na época, alternativas críticas mais familiares ao campo, que defendem *nova racionalidade* ou '*surracionalismo*', como Bachelard. Temos hoje Bohm e Prigogine que, embora críticos, não se afogam no pessimismo. Temos também, no domínio do ensino de CN brasileiro, dimensões teóricas apoiadas nos escritos dos filósofos alemães, no trabalho de Menezes, de 1988.

Insistimos com a direção de Giroux, a pedagógica. Ele ressalta que os pioneiros da Escola de Frankfurt

"desenvolveram um quadro teórico de referência dialético, para se entender as mediações que ligam as instituições e atividades da vida diária, com a lógica e as forças dominantes que moldam a totalidade social maior."
(id. *ibid*: 23)

Na esfera educacional, já vimos que é arriscado demais tentar simplificar o que é complexo. A teoria crítica tem esse mérito, o de ser profunda mas relacional e, em sua gênese, mais totalizante que outras, rivais. É menos recortada, sem ser generalista demais nem tautológica.

Das várias discussões e 'insights' dos teóricos, Giroux seleciona, no interesse de montar uma teoria pedagógica radical, os seguintes conceitos: de teoria, de cultura, de racionalidade e de psicologia profunda (freudiana).

Prossegue com as implicações desses conceitos na teoria e prática educacionais. Posiciona-se a favor da teoria, uma vez que permeia entre os professores americanos (e, podemos dizer, também entre os brasileiros) a idéia de que 'na prática, a teoria é outra'. Esta premissa acaba por desmerecer a teoria, uma vez que é censurada pela prática do cotidiano escolar. É uma posição que tenta valorizar as construções elaboradas para contrabalançar a tendência forte da 'sabedoria da prática'.

Não se trata de negar a prática, mas sim do seu caráter censor da teoria, aspecto que Adorno já apontara nos seus primeiros escritos (Giroux, 1986, pp.37/38).

Na crítica da racionalidade, Giroux não pode se apoiar em autores como Bohm ou Prigogine. Destaca os aspectos dogmáticos da racionalização científica, associados ao caráter opressor da razão iluminista, segundo os escritos de Horkheimer. Em suma, reforça que 'o iluminismo é autoritário'.⁹

Essas críticas já estão bastante divulgadas, conhecidas até. Giroux nada acrescenta neste aspecto, somando com ou repetindo as críticas de outros. Isto talvez porque ainda prevaleça, no cotidiano das pessoas, mesmo dos professores de CN, esta visão cientificista da racionalidade decorrente do 'século de luz'.

As críticas são mesmo fundamentais, mas quando excessivas e vulgarizadas tendem a reforçar preconceitos contra C&T. Esta tendência, muitas vezes encontrada em estudantes de áreas não científicas, mesmo em especialistas de outras áreas, em nada contribui para o conhecimento em C&T na perspectiva da inserção cultural.

Concordo quando o autor clama por uma nova racionalidade, a emancipatória. De seu lado, os autores que destaquei na discussão epistemológica entre F&T também defendem uma nova racionalidade. Assim, nesta perspectiva,

"A racionalidade foi redefinida, não é mais simplesmente o pensamento crítico como no Iluminismo, mas o nexos do pensamento e da ação, no interesse de libertação da comunidade ou da sociedade como um todo."
(Giroux, 1986: 39)

Se pretendermos a libertação da sociedade, não podemos negligenciar o conhecimento em C&T neste esforço. É certo que, sem C&T, ela não se dará. Daí a importância estratégica do ensino-aprendizagem de CN, pautado sob nova racionalidade, contribuindo para que seja extirpado este consenso da razão iluminista, ainda presente nas escolas.

O conceito de Teoria, que Giroux empresta dos teóricos críticos, é aquele que fundamenta as contribuições dos pioneiros da 'Escola de Frankfurt', que considera o problema entre F&T numa dimensão mais ampla à que estou trabalhando, a filosófica. Afirma que:

"Qualquer entendimento da noção de teoria tem que começar com uma compreensão das relações que existem na sociedade, entre o particular e o todo, entre o específico e o universal."
(Giroux, 1986: 33).

O que procuro fazer é buscar elementos que subsidiem uma teoria para o ensino de CN, parametrizada pela tensão entre F&T. Os autores que já discutimos incorporam estas relações em suas formulações; por exemplo, no caráter não permanente das 'leis naturais', na confusão entre o modelo e o 'real', sempre construções contextualizadas, sempre reflexos da totalidade social maior.

O conceito de cultura adotado pelo educador americano é também emprestado dos teóricos críticos pioneiros, como Adorno. Porém, apesar de incluir no conceito as bases materiais da vida, Giroux não é tão claro como Snyders quanto aos níveis de cultura.

Mesmo assim, ele correlaciona a função da escola enquanto instituição fundamental para impregnar a consciência social de formas de colonização de todas as esferas culturais, que passaram a superar os domínios do mundo do trabalho. Apelando para as noções de 'indústria cultural' de Adorno e também de 'hegemonia' de Gramsci, ele acusa a reificação da cultura, que também se tornou um objeto, da programação e opressão do lazer e do domínio de outras forças, que não a física, para dominação.

É o reconhecimento do poder da racionalidade instrumental, que leva tudo, cultura incluída, à reificação.

Por um lado, são considerados os aspectos reprodutivos da escolarização pelo autor; por outro, os de resistência. Nunca o conformismo. Parece que não incorpora o pessimismo dos teóricos que lhe fundamentam, pelo contrário, quer também uma 'alegria', ou o prazer, na escola. Ressalta a larga contribuição freudiana na interação entre indivíduo e sociedade, como o fazem seus teóricos, sobretudo Marcuse.

As lógicas da previsibilidade, verificabilidade, generalidade e operacionalismo são substituídas para uma modo dialético, na concepção de Giroux, posição que já vimos, 'mutatis mutantis', na discussão epistêmica do problema F&T. Nunca é demais lembrar que Heráclito, guia teórico grego de Bohm, é considerado o 'pai ocidental da dialética'.

No educacional, Giroux nos ajuda a identificar novas posições; com manifesta inclusão de utopias, como as da citação a seguir.

"(...) seria conhecimento que instrui os oprimidos de sua situação como um grupo, (...) que iluminaria como os oprimidos poderiam desenvolver um discurso livre das distorções de sua herança cultural parcialmente mutilada, (...) que instruiria os oprimidos sobre como se apropriar das dimensões mais progressistas de sua própria cultura, bem como reestruturar e se apropriar dos aspectos mais radicais da cultura burguesa."

(Giroux, 1986: 56)

Na sua formulação, ingredientes das contribuições de Paulo Freire quanto à libertação dos oprimidos, de Gramsci quanto ao bom senso do senso comum, e de Snyders quanto ao nível de cultura elaborada e aos conteúdos renovados. Ainda, com relação ao conhecimento novo associado à cultura e à 'alegria', temos, do autor:

"(...) tal conhecimento teria que apresentar uma conexão motivacional à própria ação; teria que ligar uma decodificação radical da história com uma visão de futuro que não apenas explodisse as reificações da sociedade existente, mas também atingisse aqueles bolsões de desejos e necessidades que abrigam um anseio por uma sociedade nova e por novas formas de relações sociais."

(Giroux, 1986: 56)

Se Snyders, ainda que numa posição convicta, busca a 'alegria' e toda uma nova sociedade que exclua os conflitos atuais das relações humanas (como o racismo em França), Giroux se utiliza das diferenças de 'gênero, raças e minorias' que também devem ser consideradas pela teoria radical. Ele defende que, sozinho, o conceito de classe não dá conta das relações no capitalismo avançado.

Diferentemente, Snyders procura privilegiar o comportamento geral das pessoas, independentemente da classe social, mesmo com disfarce, quando cita por exemplo o 'fascínio do tecnológico' em todos os jovens, de todas as classes.

Estou me apoiando em dois teóricos que não se citam, que buscam teorias no pedagógico com 'diferenças nas semelhanças'. Por exemplo, Giroux considera a história um empreendimento aberto, não sujeito a 'leis naturais', enquanto que Snyders parece não considerar esta variável. Ao contrário, talvez considere mais a invariância da história na dinâmica do porvir.

Contudo, há várias 'semelhanças na diferença', como a utilização da categoria 'continuidade-ruptura'. Giroux alerta que a teoria crítica

"dirige a educação para um modo de análise que enfatiza as rupturas, descontinuidades e tensões na história."
(Giroux, 1986: 37)

Snyders também utiliza a categoria marxista, desembocando em proposta que é temática.

Giroux permanece teórico demais, aberto demais e não corre o risco de sinalizar para propostas de educação efetiva. Com esta posição, pode ser interpretado como indefinido. Barbara Freitag, por exemplo, aponta para a excessiva indefinição dos primeiros escritos de Giroux. Para ela, o autor se apóia nos teóricos críticos, mas não diz como utilizar a teoria crítica no terreno pedagógico (Freitag, 1989, apêndice).

Com relação às contribuições da psicologia profunda, Giroux critica as pedagogias radicais por não contemplarem a importância do sensual e do imaginativo como dimensões centrais da experiência escolar.

Para minha leitura, Snyders contempla essa dívida escolar; o sensual e o imaginativo estão mais deslocados para o primeiro nível de cultura e há que se mantê-los e implementá-los na transição para a cultura elaborada, com 'alegria'. Ficamos, com esse compromisso, proibidos de suprimir tais elementos, sob pretexto de substituir, ou sobrepor, conhecimentos sistematizados sobre os prevalentes.

Um ponto positivo para Giroux é sua opção pelo desequilíbrio dos docentes, porque

"uma reforma da educação para a cidadania envolve também uma reforma dos educadores."
(Giroux, 1986: 255)

Os educadores de CN são, no seu conjunto, muito cheios de certezas; a área é muito consensual e pouco conflitiva. Talvez mais do que em outras áreas o estigma da racionalidade instrumental ainda se faça muito presente e forte nas aulas de CN.

Claro que os educadores em questão precisam se engajar na luta para as transformações no ensino de CN; sua formação nos pobres cursos de licenciatura não está contribuindo para uma nova direção educativa.

Quando lemos um teórico radical como Giroux, chegamos à convicção de que só poderemos atingir alguma transformação do sistema educacional quando priorizarmos, numa ponta, os centros de formação dos licenciandos; na outra, o exercício profissional dos licenciados.

Embora Giroux seja mais prescritivo para o campo do ensino das Ciências Sociais, ele nos faz refletir bastante sobre as dívidas do nosso campo, se nos mantivermos preocupados com a educação para a cidadania.

O ensino de CN em qualquer nível e grau carrega uma dimensão hegemônica de práticas e conteúdos mantidos acima de qualquer discussão crítica, acima de qualquer suspeita; quase nunca são colocados em dúvida.

Os professores não têm decisão sobre tal situação, porque aspectos externos ao ensino localizados no excessivo consenso filtrado e depurado da pesquisa em C&T interferem, reforçando essa 'hegemonia circunstanciada'. Já vimos que o conflito presente na pesquisa é depurado, escamoteado no ensino de CN.

Somos todos formados, ou deformados, contra a rebeldia e a dúvida, a favor da resignação e da certeza. O descolamento de C&T da cultura continua mantido, quase sempre reforçado.

Os exemplos e a explicitação das posições heterodoxas que faço aqui, de cientistas reconhecidos, estão não por acaso na contramão da formação e da pesquisa majoritárias em CN. No capítulo 7 apresentaremos uma situação típica de ensino em CN com programas curriculares apoiados quase que exclusivamente nas teorias clássicas da Física, em detrimento das mais ricas e questionadoras.

Com relação às totalidades, a opção de Giroux é clara. Vai mais além do que cogitamos, enquanto professores de CN; afirma que o conhecimento, obtido dos conteúdos escolares e das relações sociais maiores,

"não apenas deve se tornar problemático, despojado de suas pretensões objetivas, mas também definido através de mediações e papéis sociais que fornecem o contexto para o seu significado e distribuição."
(Giroux, 1986: 262)

Devo ressaltar porém que o conhecimento em CN encerra traços de objetividade e universalidade, não obstante seu relativo grau de subjetivismo.

Nas prioridades da educação fiel à pedagogia crítica radical, o autor não retira a relevância do conhecimento. Simultaneamente, não a absolutiza. Parece-me concordante com a análise de Snyders, quando este afirma não estar a cultura fora de alcance. Portanto,

"o conhecimento se torna o mediador da comunicação e do diálogo entre os que aprendem."

(Giroux, 1986: 263, grifo meu)

Os alunos, participando de ações educativas desta natureza, que têm muito de freiriana na sua dimensão libertadora,

"devem aprender como ir além das interpretações literais e dos modos fragmentados de raciocínio. Não apenas compreender seu próprio quadro de referências, como também devem aprender como esse quadro se desenvolveu e como ele fornece um 'mapa' para se organizar o mundo."

(Giroux, 1986: 264)

As relações entre produto e processo, entre conhecer e pensar, consideradas na dimensão epistemológica deste estudo, estão também presentes, pelo menos teoricamente, no pedagógico. Aqui também se procura o discernimento entre 'mapa e território', entre 'realidade e modelo'.

Tais relações precisam ser trabalhadas com os professores, todos eles. Sobretudo os professores de CN que, inadvertidamente, ainda contribuem bastante para a falta de discernimento aqui apontada. Precisam saber, como Giroux sugere, que até nossos quadros teóricos, os decantados referenciais do campo pedagógico, devem ser encarados como processo-produto e não como dogmas !

Os excessos de atomização do conhecimento que impedem as visões críticas totalizantes, dificultam aos alunos relacionar distintos saberes. Dificultam sobremaneira, quando não obstruem, a apreensão de visões críticas do porte das que aqui contemplo.

O autor escreve, sem se referir a uma disciplina específica:

"Os alunos devem aprender a olhar o mundo de forma global, a fim de entender as interconexões das partes entre si, aprender uma epistemologia que lhes permita buscar elementos de diferentes áreas de conhecimento e de formulação de problemas apropriados a um mundo exageradamente dominado."

(Giroux, 1986: 264)

Posso encaixar a citação no escopo de C&T e exercitá-la. Fatos, conceitos, problemas e idéias estudados muito isoladamente, na educação para a cidadania, não serão contemplados mediante a trama de conexões que lhes dão significado. Teoria igualmente, pois expressam verdades que são espacial e temporalmente localizadas.

Consideradas todas as frustrações, a impulsão otimista está também presente em Giroux. Ele critica os estudos intermináveis a respeito da triste situação educacional de hoje em seu país e fora

dele. Lembra a falta de consciência atribuída aos estudantes, como se nada mais pudesse ser feito. Como temos, infelizmente, essas discussões entre nós também!

Em defesa da escola e da educação, o autor comenta que

"as forças materiais e ideológicas que promovem a reprodução social e cultural também produzem formas de resistência."
(Giroux, 1986: 293).

E, com maior convicção ainda:

"Na verdade, a educação representa a categoria central no desenvolvimento das esferas públicas alternativas."
(idem, *ibid.*: 309)

No Brasil, não podemos, com maior razão, encontrar espaço alternativo tão potente quanto a educação escolar para a busca de transformações sociais. Claro que não é suficiente, mas claro também que necessário e fundamental. Onde nossa população encontrará instrumentos para ganhos culturais e ações transformadoras, fora da escola?

O conceito de resistência que Giroux trabalha, não sempre ligado ao de 'comportamento de oposição', é bastante rico e interessa a qualquer educador preocupado com mudanças em seu campo. Ele se opõe ao de reprodução, e carrega também dimensões progressistas e retrógradas.

Com a resistência, encontramos mais um aspecto para a busca da seletividade entre o que deve ser mantido e o que deve ser superado nos dois níveis de cultura.

Esta seletividade inclui todos os empreendimentos humanos, obviamente inclui também C&T. Ou seja, não se apreende somente conhecimento em C&T pronto e poderoso, apreende-se também para transformá-lo, para dirigi-lo a interesses de maiorias. Maiorias conscientes, escolarizadas.

A seguir destacaremos nossa proposição para contribuir, via escolarização, com os ganhos culturais em C&T pelos alunos.

NOTAS E REFERÊNCIAS III

1.- Consultar Angotti&Delizoicov, 'Metodologia do Ensino de Ciências', S.Paulo, Cortez, 1990. No cap.1, argumentamos a favor da 'alfabetização científica' já nos primeiros anos de escolarização, simultânea e complementar às demais alfabetizações. Discutimos também as especificidades do ensino-aprendizagem de CN e caracterizamos os traços marcantes dos conceitos científicos. Ver o cap. 4, em particular item 4.2, desta tese sobre os conceitos e o cap.7, item 7.1, sobre o ensino-aprendizagem de CN desde o primeiro grau.

2.- Um exemplo é a divulgação de resultados preocupantes do ensino-aprendizagem de CN na revista 'Newsweek', edição de 21 abril 90, divulgada logo após entre nós pela Folha de S.Paulo e pela revista Veja, no Brasil.

3.- Consultar o artigo de Hutchins, R.M. 'Education for All', in Great Books of Enciclopedia Britannica, vol. 1- The Great Conversation-, Chicago, Un. Chicago Press, 1971, pp. 42/51. No mesmo volume são discutidos os rumos da Educação Liberal, a Educação para Todos e a Educação de Adultos.

4.- Há extensa bibliografia no país que defende cada uma das tendências, algumas acentuando o consenso, outras o conflito. Consultar em particular, para uma posição crítica sobre as divergências entre os educadores progressistas: Ferreira, M.O.V. 'Contribuição ao Debate sobre a Pedagogia Crítico-Social dos Conteúdos'. In: *Contexto e Educação*, Ijuí, n. 7, jul-set/87, pp. 33/39.

5.- Consultar Bachelard, G. 'Le Rationalisme Appliqué', Paris, Presses Univ. de France, 1949; Goldman, L. 'Ciências Humanas e Filosofia'; Zanetic, J. 'Física também é Cultura' (referências já citadas em notas anteriores); ver também Delizoicov, D. 'Continuidade e Ruptura no Ensino de Ciências'- Tese de Doutorado S.Paulo, S.Paulo, FEUSP, 1991 e Freire, Pedagogia do Oprimido, Petrópolis, Vozes, 1976.

6.- Consultar a obra em referência, Snyders, 1988, cap. 3, pp.111 a 115. Outras áreas, como as artes, história, linguagem, são igualmente contempladas.

7.- Há distinção e valoração do nível elaborado da cultura francesa e da brasileira; lá é dado destaque em geral às obras-primas do terreno 'clássico'; aqui temos sofisticações na esfera da 'cultura primeira' dos criadores, por exemplo na música não clássica (Caetano Veloso, Cartola, Pixinguinha, Milton Nascimento...). Essas criações não são acessíveis à população, como o são muitas 'criações de gosto musical bizarro'. Aqui, não podemos classificar música de Tom Jobim e de Amado Batista como populares. A música popular francesa, em particular, é mais pobre em criação; talvez seja mais fácil, lá, a opção pelos clássicos. Apesar desta contraposição, lembramos que Snyders valoriza, com razão, poemas que embalam músicas populares consagradas na França ou de expressão francesa, como os do belga Jacques Brel.

8.- No ensino de CN, podemos sintetizar três correntes principais como as mais fortes em tempos recentes: tecnicista, escola-novista e de ciência integrada. A crítica a essas tendências simplificadoras é analisada por mim e Delizoicov no cap.1 do livro citado na nota 1 deste capítulo.

9.- Consultar Menezes, Tese de Livre-Docência, IFUSP, 1988; Horkheimer e Adorno, 'Dialética do Iluminismo', in 'Os Pensadores', SPaulo. Abril, 1983. Há uma tradução mais recente desse texto, com o título: 'Dialética do Esclarecimento', Rio de Janeiro, Jorge Zahar, 1985. Consultar principalmente o cap.1.

CAPÍTULO 4. - CONCEITOS UNIFICADORES E ENSINO DE CIÊNCIAS

4.1 -SOBRE O CONFLITO ENTRE O SENSO COMUM E O CONHECIMENTO

ELABORADO

Para discutir elementos fundamentais do interesse da educação escolar , incluídos os interesses do ensino de CN, destacaremos inicialmente a contraposição entre os conhecimentos do senso comum e do sistematizado.

Conhecimento científico e tecnológico estão comprometidos com a cultura elaborada (Snyders, cap.3, item 3.2); pertencem, em minha compreensão, ao 'novo espírito' e à 'filosofia do não', de Bachelard, não obstante os períodos relativamente longos e tranquilos das épocas de 'ciência normal'. Isto quer dizer que ele não é, como alguns sugerem ¹, uma continuidade ou refinamento do senso comum. Caracteriza-se por constituir ruptura(s). O novo que diz não ao velho, difícil de compreender e principalmente de aceitar, justamente por romper com velhas crenças e idiossincrasias.

A adesão ao estabelecido parece ser da condição humana. Internamente ao terreno de C&T, já vimos certa dificuldade na substituição de 'paradigmas', justamente pelo caráter inusitado do novo, que abala a segurança do aceito. Ainda que não seja consensual entre epistemólogos e cientistas a demarcação muito nítida entre ciências 'normal e revolucionária', desde a sua proposição inicial (Khun 1962/1976), os teóricos com quem trabalhamos manifestam a dificuldade dos membros da comunidade científica em substituir suas atuais 'crenças' pelas novas e ruptoras. Por exemplo, temos de um lado Holton, que evidencia a disputa entre partidários e oponentes a Milikan (Holton, 1979, cap.2) quanto à detecção e existência da carga elétrica fundamental (conflitos temáticos, do eixo 'z'); de outro, não na mesma linha, temos Barnes, que, numa direção diferente da de Bohm, explicita sua discordância com a qualificação atribuída à 'ciência normal' de Khun, como já visto.

Ao considerarmos o empreendimento de C&T vazado para as relações sociais, abertos e divulgados para os cidadãos, o caráter da ruptura se destaca, em escala e intensidade maiores do que internamente. Nesta etapa educativa, todo cuidado é pouco, para não se isolar o que se pretende socializar, justamente pela singularidade detida pelo conhecimento novo, que vai contra o estabelecido.

O conhecimento comum é baseado na utilidade das coisas, pautado pelas necessidades, mais próximas dos 'fatos' e de sua suposta neutralidade do que das relações; mais do concreto do que do abstrato.

Muitos estudos profissionalizantes caracterizam-se por selecionar muito bem e implementar o conhecimento voltado somente para o aspecto operacional. Moscovici (1973) indica essas correlações e esse pragmatismo. São os exemplos típicos de prevalência da Prática, nos casos onde em geral funciona como censora, quase inimiga, da Teoria.

O conhecimento comum é a cristalização dos processos mais fragmentados de pensar (Gramsci, apud Snyders, ver cap.3, item 3.2). Ele se constitui por observações, sensações e opiniões justapostas, aproximadas por analogias grosseiras ou semelhanças de rigor pouco preciso. É o 'conhecimento ilhado' de Moscovici, caracterizado pelas explicações isoladas; não há estruturas de referência, nem teoria de suporte.

Um conhecimento diretamente preso ao senso comum é utilizado por todos, mesmo por aqueles que atingiram níveis da 'cultura elaborada'. Ocorre que os comportamentos associados a tal conhecimento só podem ser criticados e comparados ao sistematizado por esses poucos que transitam entre as duas culturas, ou os dois níveis de cultura. A grande maioria fica a depender somente do senso comum, sem poder dimensioná-lo e criticá-lo. Permanece imersa e aprisionada.

Bachelard é claro. Não se sai de um conhecimento para outro sem o difícil custo da mudança. Mudança que não é pequena, mas radical. O novo conhecimento colide com o antigo, persegue-o. É contra o estabelecido enfim. Isto não significa negar as riquezas do conhecimento comum, as técnicas rudimentares de que todos dispomos, o raciocínio imediato que sacamos em nossas tarefas diárias. É enfatizar, mais uma vez, que tais riquezas, bem como as suas contradições, só podem ser percebidas e admiradas quando se atinge o conhecimento elaborado.

Nos moldes atuais, o conhecimento elaborado não pode ser alcançado com o auxílio da aprendizagem em CN. Paradoxalmente, grande parte dessa atividade educativa também se apóia em particularidades, nomenclaturas, definições e fórmulas que não se ajustam nem auxiliam a construir estruturas de conhecimento. Pautado também por explicações isoladas e relações causais mecanicistas, os cursos de CN nos distintos graus de ensino mais se assemelham a um senso comum maquiado do que a um conhecimento que se estrutura e se enriquece dinamicamente.

O pedagógico será favorável às aquisições dos ganhos culturais do conhecimento em C&T, quando priorizar o *conflito* entre esse e o conhecimento anterior, 'comum', dos alunos; quando apontar para práticas educativas que, além de trabalhar o conflito entre os saberes, persegue o conhecimento estruturado e aberto, de acordo com as vertentes epistemológicas mais atuais, posteriores ao neopositivismo.

O conhecimento sistematizado, principalmente o científico, ainda que bastante criticado pelo seu vínculo com a especialidade, seu caráter fragmentário, como fizemos no capítulo anterior, é apoiado em teorias gerais que permitem sínteses em direção às totalidades. Ou há exageros nas críticas muitas vezes lançadas ao trabalho em C&T, ou seu caráter crítico interno não é suficientemente divulgado. Ele avança pelo conflito, está sujeito a pressuposições a nível dos 'themata', como já discutimos, é necessário e fundamental enquanto instrumento de cultura.

As transformações que atualmente ocorrem no campo das pesquisas em C&T, a prevalência das complexidades e o adeus à terminalidade das teorias clássicas do século passado reforçam a necessidade desse conhecimento. Hoje sabemos que ele é uma construção sujeita a determinantes históricos e sociais, não neutra e que avança como os homens, também mediante continuidades e rupturas.

Poderá ocorrer alguma mudança no futuro da Ciência que caracterize mais ainda o conflito, com a convivência de não somente uma teoria por área e época. Bohm, por exemplo, defende a posição da pluralidade entre distintas visões e teorias para o empreendimento. Não é o único (ver cap.2, item 2.3).

Nenhuma dessas inquietações vem se destacando como tendência significativa no ensino de CN. Reconheço haver consenso quanto aos insucessos da atual educação em CN; isto ocorre em todos os países, com maior ou menor intensidade ³. Contudo, seus traços marcantes são ainda calcados no século passado, sua defasagem e dívida social são enormes. Embora sejam estas características ainda presentes em muitos países até avançados, são quase hegemônicas no Brasil. Em crise, tal ensino merece ser transformado.

Como proposta, sustentamos que o conhecimento em C&T acessível a todos os escolarizados não se dará sem se priorizar a apreensão dos *CONCEITOS*, no sentido de universais. Essa opção pressupõe simultaneamente a ênfase no relacional, na capacidade articuladora dos conceitos de se associarem construtivamente a outros, na perseguição de estruturas e de ordenação de saberes.

Dados os riscos de fragmentação que se pode atingir mesmo com a opção temática, mesmo com a opção conceitual, propomos a utilização básica de conceitos supradisciplinares, que chamamos *unificadores*. Eles podem dirigir a busca e conquista de ganhos culturais mais voltados para as totalidades, sem descaracterizar as necessárias fragmentações. Unificadores porque aplicados em larga escala nos diferentes escopos das CN, podendo mesmo vir a constituir pontes, ou pelo menos elos de ligação, para o conhecimento crítico em Ciências Sociais.

De seu lado, as relações entre os conceitos estabelecidas principalmente através das operações lógico-matemáticas, também são contempladas. Como são, porém, mais afetas ao conhecimento em Matemática, não explicitarei sua discussão, considerando-as como necessidades. Centrarei a atenção nas conceituações e na defesa das 'mudanças conceituais direcionadas' no ensino-aprendizagem de CN.

A proposta com fundamentação epistemológica e pedagógica é dirigida aos docentes de Física e de CN, mais voltada para *'o que ensinar e o como ensinar'*, enfim mais para o ensino. Ela não incorpora uma fundamentação psicológica no plano de primeira relevância, não pretende avançar discussões sobre modelos de aprendizagem dos alunos, embora admita como mais compatível e desejável a necessidade e as conveniências do chamado *'construtivismo'* na sua dimensão epistêmica.

4.2- A NATUREZA DO CONCEITO CIENTÍFICO

O *conceito*, sempre presente nas leis e teorias, é o *'regular transferível'* para inúmeras outras situações aplicáveis dessas poucas leis e teorias. É uma das armas econômicas do pensamento científico, porque relacional, operativo e abstrato.

Em CN, como em todos os campos de conhecimento, o conceito é caracterizado pela infinita transferência a todos os objetos, situando o que há de comum ⁴. Em particular, no campo científico/tecnológico, na ausência do objeto concreto, ele (o conceito) estimula e permite ações transformadoras no objeto. Moldável tanto na linguagem comunicativa do falar e escrever da língua codificada, como na matemática na maioria das vezes, a ele se atribui uma propriedade de estrutura de grupo, parâmetro ou invariância. Por exemplo, as estruturas tomadas por Eddington (ver cap. 2, item 2.1) são conceituais, e por isso pertencentes a grupos matemáticos. Os conceitos mais poderosos da Física e da Química são assim constituídos.

Ullmo (1976) indica a indissociabilidade entre conceito e teoria, a busca da objetividade e universalidade, a não relativização dos fenômenos aos sujeitos. São atributos conceituais, de certa forma explicitados desde os tempos de Aristóteles.

No ensino de CN, temos opções e propostas de *'mudança conceitual'* que enfatizam precisamente o conflito entre o conhecimento comum e o científico. Estudos das chamadas *'concepções alternativas'* dos alunos estão muito presentes em publicações em vários países europeus e no Brasil ⁵.

O que propomos aqui é a eleição de alguns conceitos que, na formação dos professores, podem se constituir em balizas ou âncoras, tanto para as aquisições do saber em CN como para minimizar excessos de fragmentação do pensamento dos estudantes. E também dos professores, uma vez que o ensino de CN, seja de Física, Química ou Biologia, ainda se caracteriza por conjunto de fragmentos de saberes que, embora associados, não são assim discutidos. Resultam separados, ilhados, mesmo para a maioria dos professores dessas ciências. Isto significa que, na prática, *'temos avançado' contra a interdisciplinaridade e contra a complexidade.*

Outra demanda social contemporânea, a da articulação entre o conhecimento científico e os processos tecnológicos, não vem sendo contemplada em escala nas práticas educativas.

Temos praticado em nossas ações educativas o potencial unificador dos conceitos que utilizamos, também quanto às conexões dos assuntos de Ciência com os de Tecnologia. Tais conceitos podem apontar para o complexo do social e mesmo para os níveis de *consciência cósmica* 6.

Neste contexto, está muito forte o compromisso de trazermos para o universo cultural o conhecimento em C&T restrito a poucos. Ainda, para as grandes maiorias escolarizadas que não prosseguem estudos ligados a C&T, os conceitos unificadores poderão permitir novas entradas e percepções, uma vez que muito mais abertos e relacionais do que os chamados '*conteúdos*'.

A busca e identificação dos conceitos, que são poucos, amplos e densos, estão norteadas pelo epistemológico e pelo pedagógico. Eles são determinados tanto pela natureza crítica do conhecimento em C&T como pela natureza crítica das complexas relações de transmissão e transformação do saber que se dão na esfera educacional.

O capítulo 2 deste nosso trabalho é a base teórica de suporte a essa nossa proposição, parametrizada pela necessidade de enfrentamento da tensão entre fragmentação e totalidade. Similarmente, pelas tensões análogas decorrentes entre Análise e Síntese, entre Macroscópico e Microscópico, entre o Atomizado-estático de Demócrito e o Contínuo-dinâmico de Heráclito. Mais ainda, pela associação entre as esferas indissociáveis da *matéria e da consciência*, não obstante os séculos de influência cartesiana.

O capítulo 3 procura sistematizar mais as categorias relevantes do campo pedagógico para o enfrentamento da tensão entre F&T. Na verdade todo o trabalho está permeado por referências desse campo, dado o meu interesse no Ensino de Ciências e na inserção cultural de C&T.

Conceitos são construtos universais da consciência humana sobre 'coisas' do universo - coisas materiais e outras 'coisas', de caráter relativamente permanente. Pela sua gênese, são dialéticos por excelência, como indicam Horkheimer e Adorno:

" O conceito, que se costuma definir como a unidade característica do que está nele subsumido, já era, desde o início, o produto do pensamento dialético, no qual cada coisa só é o que ela é, tomando-se aquilo que ela não é."
(Horkheimer e Adorno, 1985: 29)

A crítica que esses autores alemães lançam ao esclarecimento, ou iluminismo, ressalta o aprisionamento do conceito aos determinantes matemáticos, quando da correspondência entre a realidade e a construção matematizada das teorias científicas. À luz das vertentes epistemológicas empiricistas e do pragmatismo tecnicista, essa crítica é pertinente, uma vez que atribuem aos fatos

a fonte da verdade e se associam a uma concepção fundamentalmente utilitária para a Ciência. Entretanto, para as correntes epistêmicas contemporâneas realistas e críticas, o distanciamento entre modelos e natureza está muito mais nítido, as limitações das construções humanas de C&T estão mais demarcadas.

Atualmente, parecem não caber totalmente as posições excessivamente pessimistas que os pensadores da Escola de Frankfurt defendiam em relação à C&T.

A opção pelos conceitos no ensino de CN já identifica de partida o enfrentamento do conflito entre o objeto e a construção que dele fazem os homens, já enlaça na dimensão crítica tanto o universo das 'coisas' externas aos homens como a capacidade de pensar esse universo e mesmo de refletir esse pensar.

Com as advertências do passado recente sobre os excessos do positivismo, de suas verdades e de sua coerência interna (como alerta Giroux, consultar cap. 3, item 3.3), não vamos absolutizar o conceito e isolá-lo de seus compromissos sociais e culturais. Cabe ao ensino de CN trabalhar essas questões para que novos níveis de consciência possam emergir nas comunidades escolarizadas.

Esse processo não será inaugurado sem a abertura da discussão com os professores de CN, com os cientistas e epistemólogos e com os educadores. Simultaneamente, nos níveis de cognição compatíveis, com os alunos.

No diálogo inicial, nossos interlocutores são os professores. Queremos discutir e problematizar com eles os aspectos do conhecimento que apreendemos de maneira dissociada e que ensinamos nas disciplinas dos cursos escolares. A rearticulação desse conhecimento, a prática de pensar o processo e o conteúdo da reflexão e a indissociabilidade de Ciência e Tecnologia são tarefas da educação escolar. Mais explicitamente e de maior responsabilidade nossa, sejamos professores de Física e/ou de qualquer das CN, também de Ciências para o primeiro grau.

Com relação às tentadoras tendências que muitos professores ainda defendem, sobre a prioridade a ser dada aos 'fatos', lembramos, como afirmou Hanson, cada vez mais apoiado por muitos outros (Piaget & Garcia, 1988), que

"toda observação está impregnada de teoria."
(Hanson, 1985: 07)

Numa discussão mais profunda e crítica sobre a relação entre teoria e prática, Horkheimer afirma, em escritos posteriores às descobertas da Física Quântica:

Com efeito, o saber aplicado e disponível está sempre contido na práxis social; em consequência disso o fato percebido antes mesmo da elaboração teórica consciente por um indivíduo cognoscente, já está codeterminado pelas representações e conceitos humanos."
(Horkheimer: 1983: 125)

Não é mais possível, hoje, separar fatos ou observações de conceitos, sequer de teoria, assim como não é mais possível separar o que pertence à natureza inanimada daquilo que pertence à *práxis* social, como salienta Horkheimer. Para ele, podemos hoje inverter, na sociedade capitalista avançada, a idéia de que as ferramentas são prolongamentos dos órgãos humanos, pois

"os órgãos são também prolongamentos das ferramentas."
(idem,ibidem: 126)

Como nossa formação usualmente nos impulsiona a isolar em demasia o "natural" do "artificial", mais um alerta é dado por Horkheimer quanto à determinação do social sobre nosso universo:

" Mesmo quando se trata da experiência com objetos naturais como tal, sua naturalidade é determinada pelo contraste com o mundo social, e nesta medida, dele depende."
(idem, ibidem, 1983: 126)

A dissociação que normalmente fazemos, mesmo inconscientemente, está presente até nas definições do conhecimento. Chamamos nossa área de 'Ciências Naturais' ; pela citação acima, seria melhor uma correção para 'Ciências Humanas da Natureza', ou mais simplesmente 'Ciências da Natureza'. Não se trata de simples jogo de palavras; sabemos quantas vezes confundimos nosso conhecimento com a natureza e como isso é tanto mais presente quanto menos criticamente se estuda CN, mesmo sendo docente de CN ! (ver Cap.2, item 2.1)

O conceito não é a coisa, o fato não é absoluto. De forma semelhante, a Ciência não é a Natureza!

4.3-ABORDAGEM TEMÁTICA E CONCEITUAL UNIFICADORA

O comprometimento do ensino de CN com ênfase nos conceitos se apóia no enfrentamento das díades já discutidas. Ademais, se justifica pela necessidade de articulação entre saberes que, pela sua origem, abordagem, separação rígida em disciplinas de currículos, parecem distintos, embora mantenham traços comuns. São traços difíceis de ser identificados pelos estudantes.

Conceitos unificadores facilitam a conexão entre os estudos de CN e rompem com a rigidez entre as fronteiras das áreas de conhecimento. Podem ser também facilitadores para a transição

entre os dois níveis de cultura, o primeiro e o elaborado. Privilegiam a conquista de unidades estruturadas de saber enquanto potenciais instrumentos de aplicação na vida cultural.

A dimensão epistemológica que os sustenta bem como a dimensão pedagógica que lhes permite difusão e implementação são, a nosso ver, de carácter distinto da dimensão ontológica que sustenta o ensino de CN através de TEMAS, no sentido freiriano. A leitura de Holton, da permanência dos 'themata' enquanto um dos limites humanos, me auxilia a identificar, no campo pedagógico de Freire, o seu traço ontológico, relativo à sua '*gnose*'.

Pela etimologia (*thema*) da palavra, vimos no capítulo 2 que, para Holton, estão enquadradas as crenças e pressuposições de cientistas no contexto da descoberta, que são mantidas no contexto da justificação. Obviamente, não só entre os cientistas isto ocorre.

No pedagógico, tanto a concepção de Freire, do 'Tema Gerador', como os temas propostos por Snyders (cap.3, item 3.2), são também fortemente determinados (melhor dizendo, não demarcados) pela dimensão *ontológica*, em sintonia com as crenças, tendências majoritárias, contradições e necessidades de problematização com os grupos que frequentam as escolas. Claro que falamos de educação progressista, com espaço para se detectar esses temas, com possibilidade de participação dos interessados na escolha dos '*conteúdos*' escolares. No entanto, com relação aos temas, prevalecem os determinantes sociais, idiosincrasias e visões de mundo pautadas pelo senso comum. Enfim, ontológicas.

O subjetivo e o objetivo estão amarrados de saída nessa opção, assim como o universal e o particular.

Os Conceitos Unificadores são complementares aos Temas e carregam para o processo de ensino-aprendizagem a *veia epistêmica*, na medida em que identificam os aspectos mais partilhados (em cada época) pelas comunidades de C&T, sem negligenciar os aspectos conflitivos.

No campo cognitivo, tais conceitos constituem ganchos teóricos que podem articular/organizar conhecimentos aparentemente distintos em níveis intra e interdisciplinar. Por consequência, minimizam o risco de fragmentação; riscos que os Temas, por si só, não conseguem minimizar ou superar.

Uma vez estabelecida a possibilidade de serem trabalhadas as contradições encerradas nos TEMAS, associadas ao carácter unificador e epistêmico dos conceitos, sempre privilegiando o conflito entre os saberes, dois problemas educacionais restam ser discutidos teoricamente.

Primeiro, é a dificuldade de convivência entre duas opções que defendo: abordagem temática e 'escola unitária'. Não se pode abrir mão da escola unitária quando se pretende inserir culturalmente um conhecimento ainda distante das populações. A pluralidade dos temas, seu compromisso com o regional e local parecem se opor aos requisitos da escola unitária.

Segundo, a discussão nunca esgotada dos conteúdos escolares e suas implicações. Discussão até do que venha a ser o entendimento mínimo comum sobre esse termo, que parece muitas vezes carregado de polissemia entre os educadores.

4.4- CONCEITOS, CONTEÚDOS E ESCOLA UNITÁRIA

4.4.1- A ESCOLA UNITÁRIA

Passemos à discussão do primeiro conflito, evocando novamente Snyders (cap.3, item 3.2). O educador francês, ao propor temas amplos e contraditórios como 'Racismo', 'Amor', está se dirigindo a todos os educadores fundamentais de seu país, que é por excelência centralizador na educação. Não encontramos nos argumentos do autor nenhuma crítica sobre o controle unificado da escolaridade; sua busca pela 'alegria' não exclui, ao contrário reforça, a educação centralizada e unitária. Isso não quer dizer que todos os professores e alunos do país devam se submeter a cartilhas idênticas e 'palavras de ordem nacionais'. Os temas identificam contradições daquela sociedade que merecem discussão, com intensidades proporcionais em regiões distintas.

No Brasil prevalece intensa discussão sobre uma eventual relação forte entre abordagem temática e regionalismo. Há críticas até para o risco da não sistematização, da postura espontaneísta e até para o descompromisso com o saber sistematizado que a opção temática pode acarretar. Críticas bem conhecidas, debatidas e até certo ponto superadas. Correm risco maior os educadores que, preocupados em sempre valorizar a chamada 'cultura popular', acabam negligenciando o saber sistematizado.

Ao adotarmos uma posição que privilegie grandes temas compatíveis com a sociedade brasileira, estaremos superando em boa medida essa falsa dicotomia. Nada impede que determinantes locais ou regionais reforcem aspectos de um grande Tema numa realidade local, e outros em outra realidade distinta. Mantidas as relativas autonomias das secretarias estaduais de educação, poder-se-iam sugerir e praticar temas de interesse nacional a partir de participações representativas das regiões, de docentes, especialistas, alunos e pais.

Temas amplos acabam sendo melhor acolhidos quando sugeridos. A experiência educacional no país nos alerta para a provável rejeição de conteúdos ou de temas que sejam impostos pela legalidade e pela força dos sistemas de controle. Do outro lado, Temas muito pontuais, sazonais ou extemporâneos são dificilmente sistematizáveis e transferíveis. Na instituição escolar, na educação seriada de populações, esses 'temas instantâneos' não respondem às demandas de um

conhecimento em CN que se pretenda cultural. São fugazes, voláteis, fátuos; não merecem tanta relevância na educação escolar.

A escola que queremos há de ter características de *unitária*, o que não significa ser única⁸.

Os elementos críticos e teóricos que devem estar presentes na decodificação dos temas são tão imprescindíveis quanto os próprios. A perspectiva teórica no campo pedagógico é um imperativo; contribuições como as de Giroux (1986, ver cap. 3, item 3.43), precisam ser socializadas entre os docentes dos diversos níveis de escolaridade. Transformações na educação escolar dificilmente poderão conviver com a crença, ou a certeza, de que 'na prática a teoria é outra'.

O desdobramento de grandes temas, que encerram contradições da população e que persistem por um bom tempo junto à sociedade (como o 'racismo' entre os franceses) e são de interesse em grandes espaços e grupos, podem levar a subtemas de expressão regional, sem quebrar o compromisso da escola unitária. Discussão dessa natureza pode ser localizada em Pimenta e Gonçalves (1990) no destaque para a escola unitária e em Delizoicov (1991) no destaque aos temas⁷.

Insistimos no argumento cultural para a defesa da escola unitária. Não se trata de simplesmente defendê-la pela necessidade de uniformização dada a migração dos alunos entre diferentes escolas ao longo de sua escolaridade. O propalado programa expedido pelas secretarias não é obedecido, nem em conjunto, nem em seqüência. Esse discurso somente satisfaz o terreno formal, não contribuindo para a mínima uniformização dos ganhos culturais negados à população e cada vez mais acentuados pelas diferenças regionais.

A dificuldade maior para alcançarmos temas significativos de interesse nacional reside justamente no caráter não centralizador do ensino de primeiro e segundo graus no país. Essa relativa liberdade tem um preço histórico alto.

O abandono das diretrizes e ações do ensino básico ao âmbito estadual pode ter contribuído mais para acentuar as diferenças regionais do que para superá-las. Autores como Azevedo (1963) Romanelli (1986), de posições sabidamente distintas, criticam a descentralização. Não defendemos a burocracia, mas sim homogeneização mínima.

4.4.2-CONTEÚDOS

O segundo ponto que levantamos refere-se a outra polêmica, aquela dos 'conteúdos'.

Os educadores não detalham o conceito de 'conteúdo' quando o abordam. De maneira muito geral, entendemos conteúdos como 'o conhecimento que deve ser transmitido, ou aquilo que se costuma ensinar nas escolas'. São os 'judas' da malhação pedagógica para alguns, são os deuses

intocáveis que dão passagem ao saber crítico para outros. Provocam intenso debate porque consistem justamente no núcleo de apoio que justifica a instituição escolar.

Conteúdos são limitados pela aprendizagem, são universais embora possam adquirir ênfases distintas para latitudes e longitudes diversas. São as bases do saber conquistado pelas gerações anteriores, para transferência e implementação e mesmo transformação pelas gerações atuais e futuras. São tudo isso, talvez mais. Estão presentes em cada área, reconhecidos, geralmente conhecidos pelos docentes, contêm um traço inercial que dificulta sua oxigenação, atualização e, mais ainda, sua substituição por outros.

O que não pode ser descartado na discussão é que são eleitos, selecionados e filtrados anteriormente ao seu alcance pelos professores. Carregam marcas ideológicas.

Em CN e particularmente em Física, os conteúdos se impõem de tal forma que se instalam e se mantêm como 'paradigmas de ensino', mesmo se distantes dos paradigmas de pesquisa. Veremos no capítulo 7 que, nesta disciplina, os conteúdos se referem a uma ciência do século passado, quando não a época anterior, embora fortes o suficiente para prevalecerem junto aos cursos. Criticados, resistem. Quantas vezes nos deparamos, nós, professores de Física, frente a essa contradição flagrante: participamos de discussões e seminários que são parametrizados pela mudança, mesmo pela transformação radical, e saímos logo depois, para nossas aulas, carregando na pasta e 'na cabeça' os conteúdos dos textos e ementas fortemente parametrizados pela permanência!

Penso que essa transição, se ocorre, é lenta demais e muitas vezes tem se revelado inoperante. Daí estar empenhado em descentrar a discussão de conteúdos para conceitos. Sendo universais, estes podem alavancar a substituição daqueles, quando entendida teoricamente como necessária.

Os conceitos podem provocar alternativas que substituam nossa habitual sensação, que não é só sensação, de impotência frente à prevalência inercial dos conteúdos.

Como exemplares, os modelos de 'átomo, molécula e célula', sempre presentes no ensino de Física, Química e Biologia, são conteúdos. A teoria da gravitação, as reações químicas, as classificações taxonômicas da zoologia e da botânica são também conteúdos respectivos daquelas ciências. Na escola, nada têm em comum. Como podemos esperar que os alunos, ao longo da estruturação do seu conhecimento, descubram que tais conteúdos têm muito em comum?

Mesmo numa só disciplina, como a de Física, a mecânica, a eletricidade, a termodinâmica, a óptica, são conteúdos sagrados a todos os seus docentes. Infelizmente, para a maioria dos alunos, quase nada têm em comum. O pior é que essa dissociação se apresenta também para boa parte dos professores (consultar cap.7, item 7.3).

A retaliação do conhecimento que se processa na 'ciência da escola', mesmo numa só disciplina, em nada contribui para a apreensão de unidades estruturadas e ordenadas do saber.

Conteúdos são vinculados a uma forte restrição. São *contidos*, isto é, aprisionados em ‘garrafas de saber’. Podem se comunicar, porém com dificuldade. Com vinte anos ou mais de escolaridade, aqueles que atingem níveis de pós-graduação podem romper as fronteiras e fazer vazar o conhecimento contido nessas garrafas, misturando-as e relacionando-as devidamente. Sim, devidamente porque a mistura pode resultar ‘indigesta’.

Seja em *extensão*, seja em *profundidade*, alguns atingem as unidades estruturadas de saber com certa plenitude. Outros, mesmo com muita escolaridade, não o conseguem, pois demasiadamente voltados ora para a extensão do conhecimento, ora para a especialização em um ramo do conhecimento.

A prática docente contínua, crítica e alternada com avanços teóricos na área específica e na esfera mais ampla da educação, pode contribuir também para a conquista de unidades elaboradas de saber, estruturadas e ordenadas. Contudo, apenas a prática massacrante da docência nas condições a que estão submetidos quase todos os professores de primeiro e segundo graus não contribui para essa meta.

Os cursos de formação, que pressupõem o somatório de conhecimentos atomizados, muitas vezes se caracterizam mais pela ausência e pela lacuna do que pela presença e significado dos conteúdos críticos. Particularmente, nos cursos de magistério e licenciaturas, eles não instrumentalizam os habilitados a saltar para as dimensões orgânicas, ordenadas e estruturadas do saber.

A idéia de substituir conteúdos na formação de professores é tentadora, necessária até. Entretanto, o parâmetro de referência para a mudança precisa ir além dos adjetivos de ‘significativo e atual’. Os programas curriculares propostos a partir de demandas sociais e atualização são válidos, porém correm o risco de se tornar obsoletos e estáticos no futuro breve, dadas a dinâmica social e a aceleração dos processos em C&T.

Existirá uma alternativa que possibilite mudanças sem risco de breve obsolescência?

Respondo e argumento positivamente. Em todos os saberes científicos existem conjuntos de assuntos essenciais, anexados a outros, complementares. Variáveis como a área (conhecimento específico), sócio-economia local e regional (lugar, espaço vivido) e tempo (época), são relevantes para a abordagem conjunta pelas equipes pedagógicas. Um esforço deve ser feito para se detectar o que é fundamental e o que é suplementar. Cientistas, epistemólogos, professores de disciplinas específicas, pedagogos, alunos ou representantes, participam deste esforço.

Em CN, já afirmamos que os conteúdos são fortemente determinados historicamente e determinantes na formação. Os docentes, formados ou adaptados, têm a ‘cabeça feita’ por eles. Por exemplo, todos os cursos de Ciências do primeiro grau abordam o assunto ‘Corpo Humano’. O nível, as opções didáticas, a prevalência da nomenclatura ou das relações orgânicas, as experiências com modelos ou com o próprio corpo são relativos ao conhecimento

(conteúdos/metodologias) que os professores detêm sobre o assunto, mas também a outras variáveis, principalmente as anteriormente destacadas.

Semelhantemente, a ênfase à 'Mecânica' nos cursos de Física, às 'Reações' nos de Química e à 'Fisiologia' nos de Biologia, é indiscutível. Entretanto, a abordagem, as opções, a utilização de filmes e de experiências demonstrativas ou não, a tentativa de aproximação com o dia-a-dia dos alunos, dependem não só da média do conhecimento que os professores possuem sobre os assuntos.

Os conteúdos sagrados parecem impor limites para a prática docente, porque 'naturalmente' limitados. Seu enriquecimento, sua dinamização, sua eventual substituição serão sempre perseguidos pelos interessados em educação. Dificilmente serão satisfatórios pela atuação de professores, mesmo em teoria. Conteúdos fragmentados anteriormente à decisão de professores, encerrados em '*garrafas de saber*', são dificilmente transpostos para outras áreas e menos ainda para a desejada prática da cidadania, quando de sua apreensão para aplicação direta. O próprio Snyders diz que

"os conteúdos escolares não contribuem, enquanto tal, para a aplicação direta... porque são culturais..."
(Snyders, 1988: 237).

Generalidades do tipo "*conteúdos renovados*", "*saber crítico acumulado*" e "*temas significativos*" são belas expressões que nos deixam alerta e nos alimentam para a oposição aos conteúdos mortos e acabados da escola tradicional, inadequados à educação das grandes majorias. Contudo, não apontam para o que fazer nem para o como fazer pedagógicos, pois mais centrados no que não fazer e/ou como não fazer.

A proposta que defendo apresenta, para discussão das bases do ensino-aprendizagem em CN, a inserção da vertente epistêmica associada à presença sistemática da ênfase conceitual unificadora e supradisciplinar, na busca dos universais, muito ausentes nas discussões sobre conteúdos. Ela não elimina o debate sobre conteúdos, mas acrescenta elementos que, a nosso ver, não podem ser mais negligenciados. Conceitos unificadores que apontam para totalidades parciais organizadas, apesar de não desprezarem necessários recortes. Conceitos que estão presentes em várias teorias, disciplinas e campos de conhecimento, daí unificadores.

Nos exemplos de assuntos sagrados discutidos anteriormente, perguntamos juntamente com os professores:

- Quais os traços comuns que tais assuntos carregam, além de pertencerem aos domínios das CN, histórica e socialmente determinados?

Em contraposição à panacéia atribuída ao suposto 'método científico', procuro responder que os quatro assuntos exemplificados (corpo humano, mecânica, reações químicas e fisiologia), bem como muitos outros, podem ser didaticamente explorados por âncoras ou balizas, os CONCEITOS UNIFICADORES e supradisciplinares. São eles: TRANSFORMAÇÕES, REGULARIDADES, ENERGIA, ESCALAS.

Os quatro conceitos citados vêm sendo utilizados pela nossa equipe em várias ações pedagógicas e têm servido como quadros de referência nas intervenções realizadas em vários níveis de escolaridade, níveis diversos de profundidade e crítica, e também na produção de material instrucional/didático.

Poderá haver outros Conceitos Unificadores; os pesquisadores dirão. Contudo, essa categoria deve ser pautada pelos mínimos; não se pode acrescentar à vontade diversos conceitos. O potencial unificador do conjunto deve ser preservado; aumentar demais a lista significa erodir o esforço contra os excessos de fragmentação.

Passaremos a explicitar a gênese e o amadurecimento dessa proposição, analisando cada um dos conceitos, conectando-os com a base teórica dos capítulos anteriores, sobre tensão entre F&T. A ligação com a prática será mais discutida no capítulo final e apêndices.

4.5- CARACTERIZANDO OS QUATRO CONCEITOS UNIFICADORES

Inicialmente, as localizações e definições pelo critério da amplitude dos quatro conceitos supradisciplinares que adotamos.

1. TRANSFORMAÇÕES ; da matéria viva e/ou não viva, no espaço e no tempo.

2. REGULARIDADES ; que categorizam e agrupam as transformações mediante regras, semelhanças, ciclos abertos ou fechados, repetições e/ou conservações no espaço e no tempo. Regularidades neste sentido são entendidas enquanto 'regularidades de transformações'. Elas constituem a contrapartida das transformações no conhecimento, sobretudo no conhecimento científico. Em poucas palavras, podemos afirmar que a Ciência trabalha dinamicamente o par Transformações e Regularidades (T&R). Em linguagem matemática, escrevemos que várias Transformações (T) são dependentes (ou 'função') de pelo menos uma Regularidade (R), ou $R = R(T)$.

3. ENERGIA ; conceito que incorpora os dois anteriores com a vantagem de atingir maior abstração, de estar acompanhado de linguagem matemática de grande generalização e

condensação, para instrumentalizar transformações e conservações, e ainda de estar associado à degradação. Energia (E) é um sutil 'camaleão' do conhecimento científico. Transforma-se espacial e temporalmente, na dinâmica mutável dos objetos, fenômenos e sistemas, conserva-se na totalização das distintas formas e degrada-se porque uma de suas formas - o calor - é menos elástica ou reversível do que as outras. A grandeza é uma ponte segura que conecta os conhecimentos específicos de C&T. Conecta também esses a outras esferas de conhecimento, às contradições do cotidiano permeado pelo natural, tanto fenomênico como tecnológico. É esta grandeza que pode e deve, mais do que qualquer outra, balizar as tendências de ensino que priorizam hoje as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade. Em linguagem matemática, escrevemos $E = E(T, R)$.

4. ESCALAS ; que enquadram os eventos estudados nas mais distintas dimensões. Sejam ergométricas, macro ou microscópicas a nível espacial, sejam de durações normais, instantâneas ou remotas a nível temporal; sejam, com auxílio dos três conceitos anteriores, transformações e regularidades analisadas por 'faixas de energia' ou escalas energéticas. Escalas métricas, das quantidades extensivas, que não se restringem às ênfases estáticas dos mapeamentos, dos 'atlas escolares' que parecem eternos e imutáveis. O quantitativo está mais presente neste conceito, aliado ao qualitativo. Em linguagem matemática, posso escrever: $S = S(T, R, E)$, obedecendo a relações de inclusão e compromisso entre os quatro conceitos, tomadas inicialmente pelo primeiro par (T&R), incorporadas no terceiro $\langle E, E(T,R) \rangle$.

Do campo epistemológico ao pedagógico que venho privilegiando, localizamos espaços intermediários de transição do conhecimento em CN. Do saber crítico de poucos ao saber democratizado e culturalmente inserido de muitos, da "Ciência dos cientistas" à 'Ciência dos estudantes', temos na classificação de Zylberztajn (1983) a 'Ciência dos currículos' e também a 'Ciência dos professores de CN', sem esquecer também a 'Ciência das crianças'⁸.

Os conceitos unificadores podem aproximar as várias ciências, mantidos os níveis de cognição preservados. Principalmente, queremos estabelecer vínculos e estreitamentos entre 'cientistas, professores e currículos', para que se estabeleçam diálogos com estudantes e crianças. Mais ainda, que os 'conteúdos' sejam definidos por TEMAS significativos de amplo alcance e que os conceitos unificadores sejam sistematicamente utilizados para que as transferências ocorram, as desejadas apreensões ocorram, e daí o conhecimento em CN possa vir a ser instrumento real de exercício para qualquer profissão, atividade da cidadania. Sobretudo, para que o nível de cultura elaborada seja mais partilhado.

Não defendo neutralidades. A 'Ciência dos cientistas' que selecionamos não é aquela que hoje está presente nos estudos escolares de CN. A referência e discussão das contribuições dos

epistemólogos e de filósofos da Física (do capítulo 2) não dão margem para a cristalização do mecanicismo e do empirismo lógico.

Antes de explicitar a gênese e aprofundar a proposição dos quatro conceitos unificadores, trataremos de apontar características comuns a todos eles, uma vez que sua utilização é instrucional, com os quatro tomados conjuntamente, ou os dois primeiros, seguidos dos outros. A utilização deve ser trabalhada conjuntamente com os professores; podem ser também, quando necessário, abordados separadamente com os alunos, em progressão e mesmo hierarquização. Por exemplo, priorizar as transformações e regularidades com escalas qualitativas ou semiquantitativas quando os níveis cognitivos ainda não permitem a interlocução via conceito de energia.

Já dissemos que além de unificadores são SUPRADISCIPLINARES, ou seja, permeiam os escopos da Física, Química, Biologia, Geologia, Astronomia. Assim, na "ciência dos currículos", podem orientar grupos de professores destas disciplinas nos segundo e terceiro grau, e da disciplina CN no primeiro. Vão na direção das totalidades, das estruturas de conhecimento articulado e dinâmico, contra as fragmentações exageradas que nada levam além de nomenclatura, fórmulas, memorizações. Não irão atingir o conhecimento holístico por magia ou pelo somatório de superficialidades, não farão integrações a ponto de descaracterizar as especificidades de cada um dos conhecimentos.

Não são 'teorias', mas nelas estão presentes e delas fazem parte. Tanto das 'velhas' como das atuais mais aceitas. Ainda, farão parte seguramente das futuras, que virão a substituir as atuais. São categorias que não serão descartadas no futuro e ajudarão a reestruturar o conhecimento do porvir.

No conflito entre matéria e forma, podem contemplar tanto uma como outra. Nesse sentido, não priorizam necessariamente as 'teorias atômicas', embora possam considerá-las. Aqui, estamos empenhados em balancear melhor a tendência no ensino de aspectos materiais dos fenômenos, em detrimento dos aspectos onde a matéria não está presente enquanto grupamento de partículas, no sentido clássico e macroscópico. Por exemplo, as radiações, ondas e todos os fenômenos de perturbações com transmissão de sinais, de energia pura, como as telecomunicações. Em terminologia da Física contemporânea, é mais conveniente priorizar o conceito massa-energia, da Relatividade e Quântica, do que somente massa, das teorias clássicas (ver cap.2, itens 2.1 e 2.2).

Os conceitos não estão presos a modelos/estruturas, como muitos conceitos de CN que caracterizam modelos de 'coisas', a exemplo do átomo, de moléculas, de células. São mais fluidos, não diretamente estruturáveis, embora participem das estruturas do conhecimento, da construção dos modelos e teorias.

Com relação ao conflito entre conhecimentos em extensão e em profundidade, os conceitos unificadores também estão presentes nos dois níveis. São os níveis curriculares que definirão a profundidade com que se tratarão os tópicos derivados de temáticas. As relações, as imbricações

entre conteúdos aparentemente distintos, serão mais atingíveis, seja em extensão, seja em profundidade, na aprendizagem alcançada em um ano letivo, como em vários sucessivos.

Estamos empenhados em vincular os conceitos unificadores às idéias de ordem, estrutura, tempo/criação, totalizações, discutidas no capítulo 2, com as contribuições de Eddington, Bohm e Prigogine, com maior destaque para o segundo.

Estamos também empenhados em não vincular os conceitos unificadores às classificações taxonômicas, às observações estáticas, aos 'fotogramas' impregnados por concepções fragmentadas e estáticas dos modelos e, mais ainda, à transferência desta impregnação para a 'realidade' (ver cap.2, item 2.3).

Os conceitos demandam linguagem e simbologias tanto da expressão na língua materna como da expressão matemática. Por um lado, jamais se conseguirá o conhecimento estruturado em CN sem utilização das duas linguagens; por outro, não se pode empanar a efetiva compreensão dos conceitos pelos exageros dos formalismos ou das formuletas matemáticas, que somente 'estimulam' os estudantes a se distanciarem dos conhecimentos de CN tratados em sala de aula. Conceitos e relações cotejados através de operadores lógico-matemáticos referem-se à causalidade e podem ser tratados com base em lógicas avançadas, para além da clássica, aristotélica.⁹

Pedagogicamente, buscamos os conteúdos renovados, a alegria, a passagem do primeiro nível para o segundo de cultura (Snyders, 1988) bem como o enfrentamento da reprodução e da resistência enquanto elementos da categoria da contradição. Os pressupostos da 'teoria crítica', conforme apontados por Giroux (1986), fazem parte do conjunto de bases teóricas onde se apóiam os conceitos unificadores.

Finalmente, destacamos como características comuns dos quatro conceitos sua identificação e presença tanto no saber que domina o senso comum, como no saber sistematizado, embora seus significados, compreensões, sejam qualitativamente distintos na maioria das vezes. Enquanto construtos de nossa consciência individual que encontra ressonância e reforço na coletiva, tais conceitos são pontes de transição de um saber para o outro.

Em contrapartida, formulações que elegem o ápice dos fragmentos, como as tendências do 'minimalismo' e do 'pós-modernismo', são incompatíveis com as proposições que defendo.

A transição não se dá linearmente, uma ruptura ocorre na transição, a reconceitualização será feita na mudança, ou seja, uma releitura dos conceitos será feita com os novos instrumentos adquiridos do conhecimento cada vez mais elaborados. Refiro-me à 'mudança conceitual', entendendo que ela não é atingida somente pelos caminhos evolucionários, mas sim em alternância com os revolucionários. Aqui, nos posicionamos mais pelos pesquisadores de 'construtivismo e mudança conceitual' que destacam os saltos revolucionários entre os conhecimentos, o prevalente e o que se pretende com o ensino de CN¹⁰.

Para além do construtivismo e das conquistas cognitivas, que reconhecemos não serem objeto de enfoque em nosso trabalho, os conceitos transdisciplinares ou unificadores são ferramentas para o enfrentamento das tensões entre fragmentos e totalidades do conhecimento elaborado.

Mesmo considerando as rupturas necessárias entre os saberes do senso comum e do elaborado, neste último é preciso um esforço para se reduzir os atomicismos de cada uma das disciplinas das ementas da 'Ciência dos currículos' e da 'Ciência dos professores'. É principalmente neste espaço social que pretendo intervir.

A atual tendência que anseia pela aprendizagem articulada e interdisciplinar não se dará sem a reformulação daquelas 'ciências'. Grandes temas atuais de interesse global, como o ecológico e a vertente de ensino de CN para as sociedades, nas relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CT&S), não podem ser atingidos sem substituição das ementas atuais. Substituição do ensino por objetivos pelo ensino dos processos, com priorização dos conceitos supradisciplinares como os aqui propostos. Tais conceitos, a prazo mediano, poderão atingir o status de TRANSDISCIPLINARES.

Uma crise no terreno das proposições curriculares se instalou e vem se mantendo há tempos. Faltam novas alternativas que indiquem pistas para novos paradigmas que venham a substituir, com vantagem, o ainda prevalente 'técnico-linear' (Tyler, 1960). Em parte esta crise parece decorrer do excesso de proposições gerais. Embora sejam muito críticas, não desmontam o esquema funcional-technicista muito bem montado nos últimos decênios.

Para mim, não existem ainda outros paradigmas curriculares, como supõe Domingues (1986). Não obstante tendências que o autor denomina 'paradigmas', como a 'circular-consensual' e a 'dinâmico-dialógica', estas ainda estão em dívida com aquela, a 'técnico-linear'. As proposições aqui contidas, de ênfase e utilização de conceitos supradisciplinares/unificadores, devem ser lidas como uma contribuição à tendência 'dinâmico-dialógica'. Em particular, Giroux e Freire são porta-vozes dessa tendência, com propostas divulgadas e conhecidas, embora voltadas para a amplitude e as complexidades do fenômeno educacional.

Não se encontram, nos escritos desses autores, nem nos de Snyders, proposições localizadas para o ensino de CN. Nem se poderia encontrar. Mas nenhum deles nega ou negligencia a necessidade urgente de se democratizar, na escola, o saber crítico, socialmente estratégico e ainda muito distante das maiorias, do conhecimento em C&T. Um saber instrumental que servirá para transições entre níveis de *consciência* (Freire, 1975) ou de *cultura* (Snyders, 1988).

Os quatro conceitos unificadores propostos serão detalhados nos dois capítulos a seguir.

NOTAS E REFERÊNCIAS IV

1.- Como exemplo, consultar Alves, R. 'Filosofia da Ciência', S.Paulo, Brasiliense, 1984. No primeiro capítulo, o autor explicita suas idéias através de proposições e questões discutidas coloquialmente. Insiste que a Ciência não é diferente do senso comum, apenas uma 'metamorfose' dele, com características de especialização. Não dá importância ao papel das 'rupturas' entre um conhecimento e outro, mesmo trabalhando 'dialeticamente'. Passa a idéia de que o conhecimento científico é pautado por truques, intuições e destrezas, ao contrário de organização estrutural. Embora discorde dessa concepção, reconheço a contribuição do livro, sua elaboração didática e seu sentido polêmico.

2.- Consultar, por exemplo: Godet, M. 'Défis et Crise Mondiale des Systèmes Educatifs', in *Futuribles*, n.118, Paris, février 1988, para uma crítica ampla à Educação, contraposta com exigências atuais de C&T e outras áreas. Ver também Parker, E. 'L' Education peut causer des Catastrophes', in *Futuribles*, n.131, Paris, avril 1989. Sobre tendências atuais do ensino de Física, consultar Ziman, J. 'It's not what you do: it's the way that you do it!- The Rationale of STC Education is in the Approach.', in 'Science Policy Support Group', London, 1990 e Lijnse, P.L. et alii, 'A Thematics Physics Curriculum: A Balance Between Contradictory Curriculum Forces', in *Science Education*, 74 (1), London, John Wiley & Sons, 1990, pp. 95/103.

3.- Usamos aqui os termos de 'ordem' e 'estrutura' como propostos por Bohm (consultar cap. 2, item 2.3, ou Bohm, 1989).

4.- Um exemplo (ou contra-exemplo) que contrasta os conceitos a que me refiro com os estudados por outra área precisa ser referenciado. No campo da Psicologia Cognitiva, há um domínio de pesquisa sobre "Conceitos Simples e Complexos" que investiga as correlações, por crianças, entre palavras-conceitos; por exemplo: porta aberta. Minha preocupação não é essa, ela privilegia por exemplo: transformações, cujo grau de generalização/dificuldade é qualitativamente distinto do anterior. Esta contraposição, entre o que escrevo e o que estuda esta linha cognitiva, pode ser constatada pela leitura deste capítulo e do artigo de Murphy, G.L. 'Comprehending Complex Concepts', in *Cognitive Science*, 12, 1988, pp. 529/562. Ainda, nos capítulos anteriores, os teóricos a quem me refiro são epistemólogos e pedagogos; eventualmente há contribuições da Psicologia nestes estudos, mas eles não constituem balizas. Conceitos e relações jogam um papel fundamental também na formulação teórica de Piaget (O desenvolvimento das quantidades físicas nas crianças) e também Vigotsky (Pensamento e Linguagem, cap.6). Ainda que com certas distinções em suas análises e proposições, eu teria maior identificação com as contribuições dos dois últimos, dadas suas compreensões do 'conceito científico' e sua relação com a causalidade.

5.- Ver comentários sobre essa linha de pesquisa e seus principais colaboradores brasileiros e estrangeiros em Villani, A., "Conteúdo Científico e Problemática Educacional", Tese de Livre-Docência, SPaulo/IFUSP, 1986.

6.- O Grupo é composto por Demetrio Delizoicov e Marta M. Pernambuco, Maria Cristina Dal Pian, eu e vários mestrands. Consultar o artigo 'Concepção Orgânica do Ensino Problemizador', in 'Seminário: Ciência Integrada ou Integração entre as Ciências', UFRJ, 1988, que resume e discute as pretensões e referenciais dos elementos do grupo. Consultar também, de Angotti, J.A. et alii, 'Pesquisa em Ensino de Ciências - Uma posição : interdisciplinaridade, totalidades e rupturas', in Atas do III EPEF, Moreira&Axt (orgs.) Porto Alegre, UFRGS, 1990.

7.- A proposta para uma Escola Unitária no Brasil é apresentada e discutida por Garrido e Gonçalves (1990). Em minha compreensão ela é clara e pode ser implementada. Sobre abordagem temática segundo a concepção freiriana, consultar Delizoicov, D. 'Continuidade e Ruptura no Ensino de Ciências'- Tese de Doutorado, S.Paulo, FEUSP, 1991.

8.- Zylberztajn, A. 'A Conceptual Framework for Science Education: Investigating Curricular Materials and Classroom Interactions in Secondary School Physics' - Tese de Doutorado - Un. of Surrey, 1983.

9. Consultar Piaget (1973, Apêndice). Lógica de classes, posterior às contribuições de Frege, Russel e Gödel, supera a lógica formal aristotélica. Ver também o prefácio da tradução brasileira do "Tractatus Logico-Filosoficus" de Wittgenstein, escrito por Gianotti, J.A. Tais lógicas avançadas são muito bem apresentadas e discutidas neste prefácio.

10.- West M. (1982) classifica vários pesquisadores nestas duas correntes; está em Zylberztajn, A.(1983) citado em 8, cap.14, item 14.2.2.

CAPÍTULO 5 - CONCEITOS UNIFICADORES DE PRIMEIRA ORDEM

5.1- TRANSFORMAÇÕES

"Um homem não poderá banhar-se num rio por duas vezes, pois nem o homem, nem o rio, serão os mesmos."

(Heráclito)

Com uma abordagem distinta das anteriores, a Ciência (moderna) e sua aliada Tecnologia (moderna) vêm enfocando as transformações, no seu sentido mais amplo. Claro que elas são contempladas há muito mais tempo. A Astronomia, com seus modelos geocêntricos, a Física e a Biologia dos gregos são muito anteriores à ciência moderna, pós-Renascença, pós-século XVI. A abordagem sem precedentes a que nos referimos é aquela acoplada aos novos interesses do capitalismo, à expansão do universo geográfico do europeu para os novos mundos recém-descobertos, do universo cosmológico fechado para o infinito das teorias da Mecânica. Conhecimento que acelerou as conquistas e instaurou o Iluminismo, que abriu as portas para as revoluções industriais do século XVIII.

O estudo sistemático das mudanças de formas e também de conteúdos é um traço, uma característica forte do pensamento e da ação científica. *Transformações na aparência*, mas também na *essência*, anteriormente não permitidas (pela escola aristotélica). Transformações possíveis, das primeiras máquinas têxteis às eletrônicas atuais, que antes eram impossíveis. Transformações que acabaram por gerar e ampliar um mundo cada vez mais caracterizado pela 'natureza transformada'.

O estudo das transformações da matéria viva/ não viva e da energia atinge hoje os extremos das fronteiras alcançadas pelo homem, das nucleares às cosmológicas. São rápidas, instantâneas para nossa percepção, de maneira a simularem somente seus produtos, deixando os processos escondidos ao observador comum. No outro extremo, tão longas que não detectáveis pela nossa percepção imediata, remotas, primárias (da natureza, independente do homem), como oriundas de nossa intervenção, estas simulam 'conservações' ao observador comum e, como as rápidas, também deixam escondidos os processos.

As 'coisas' ao nosso redor e as 'coisas' distantes de nós se transformam e são transformadas, sejam grandes, pequenas, sólidas-ou não. Em particular, a matéria viva está em contínua transformação no seu embate com o ambiente. Matéria viva individual, que não se conserva por

períodos médios (a partir de 100 anos), e matéria viva de espécies que se conservam, ainda que algumas tenham sido extintas, outras ameaçadas de extinção.

Alguns dos adjetivos apenas espaciais e temporais das transformações foram destacados; outros podem ser lembrados, como os térmicos. Podem ser mudanças da matéria quente ou fria, com ou sem combustão, com ou sem mudanças de estado ou transição de fase, plasmáticas, ou tão frias que perto do 'zero absoluto'. Podem envolver crescimento ou evolução, quando de cristais, seres vivos ou estrelas, mas também podem envolver convolução ou envelhecimento, nestes mesmos exemplos. Cristais e estrelas que, quase como seres vivos, nascem, crescem, envelhecem e morrem. Só lhes faltam as macromoléculas do tipo 'DNA'. Transformações que acentuam decomposição de corpos em partes, ou geração de filhos da matéria viva, ou de algumas partículas desintegradas a partir de 'núcleos pais'. Podem também envolver composições ou sínteses, orgânicas ou inorgânicas, de grupos moleculares ou de vegetais que absorvem/catalizam energia ou luz em seus processos fotossintéticos. Transformações eletricamente neutras, ou com evidência de trocas entre materiais eletricamente não neutros, das nuvens aos transístores.

Essa categoria unificadora aponta para generalizações e aprofundamentos em Física, Química e Biologia e suas congêneres. Não cabe a nós fazer aqui esta tarefa precípua da construção de uma nova 'ciência dos currículos'. Será tarefa conjunta, de grupos envolvidos com a educação, sensibilizados pela proposição que privilegia este conceito unificador.

Destacamos a ligação íntima desta categoria com *processos*, com os aspectos dinâmicos que caracterizam muito mais os modelos científicos de descrições atuais da natureza do que os aspectos estáticos do seu ensinar/aprender, dos seus produtos que são mistificados, do seu suposto 'método' que se traveste em panacéia. Processos de transformação que demandam análise no espaço e no tempo, insistimos. Espaço e tempo demarcados por escalas, que adiante serão detalhadas (ver cap.6, itens 6.2 e 6.3).

Todas as trocas, interações entre partes e todos são transformações ¹.

Mesmo as partículas elementares tão buscadas pela Física contemporânea podem não ser, enquanto tais, as partes primeiras, os 'tijolinhos' da natureza. Podem ser constituídas de outras partes ainda não localizadas, como o foi o núcleo depois do átomo (indivisível dos gregos), mais tarde as partículas do núcleo, mais recentemente os 'quarks' de prótons e nêutrons. Para a 'Ciência dos professores', queremos trabalhar as dimensões epistêmicas das transformações, localizar e indicar possibilidades que possam contribuir para superar os limites dessa 'ciência'.

As partículas da Química e da Biologia constituem totalidades intermediárias, como já comentamos. Ademais, insistimos que as transformações não serão uma categoria unificadora voltada apenas para as interações entre partículas. Da Física atual, sabemos a limitação também deste conceito, muito preso à massa, muito válido para a 'matéria cega'. Ninguém melhor do que David Bohm o vem criticando pela sua quase exclusividade na sistematização do conhecimento

pela categoria da análise. Em suma, unificar conhecimento pelas transformações pressupõe *análise e síntese, matéria e forma, permanência e destruição de 'coisas', não só as materiais*.

Busco um universal utilizado exaustivamente pelas CN, que parece ser também um instrumento poderoso de estudo das Ciências Sociais. Entretanto, como os recortes são sempre imperativos, além de recomendados, sua eventual aplicação a outros campos do conhecimento, mesmo o científico, não será aqui tratada. Já discutimos anteriormente pensadores que trabalham dialeticamente as relações entre fragmentos e totalidades, que se utilizam do conceito das transformações no campo social, como Goldmann e Horkheimer, mas não avançaremos mais do que detectar essa sintonia, sempre naquela perspectiva de enriquecer o conceito e a prática da cultura. Alguns pesquisadores destas áreas terão interesse em desenvolver tais estudos.

Não pretendo abusar de um só conceito, mesmo porque ele não é auto-suficiente, está associado a outros ainda por discutir. Não pode ser usado como uma tautologia, que, por explicar tudo, acaba por explicar nada, deixando os envolvidos patinando em superficialidades. Evidente que para as séries iniciais de estudo escolar prevalecerão os aspectos extensivos das transformações, as diferenças das 'coisas' entre o antes e o depois².

Quanto às restrições, elas existem. No campo da Física, o uso dessa categoria no estudo dos sistemas estáticos macroscópicos será de pouco valor, pois tais sistemas são 'permanentes' para as observações que buscam mudanças em prazos médios. Isto não ocorre para os mesmos sistemas quando observados pelo universo/dimensão microscópica, uma vez que as partículas não estão absolutamente em repouso.

No campo externo às CNs, é inadequado o uso da categoria para aplicação às conversões. Embora estas sejam também mudanças, não são do mesmo tipo/categoria que aquelas. Portanto, mudanças que indicam alterações de fé, religião, opção política, não estão contempladas. Conversões são aplicadas a outros universos que transcendem os da matéria e da energia, transformações não. Assim, as tendências cada vez mais acentuadas que admitem misturar o conhecimento científico com outros, incluindo os especulativos esotéricos, não são facilitadas pela concepção que adoto para a categoria unificadora.

A advertência sobre o uso de uma categoria tautológica é dos epistemólogos racionalistas com base no positivismo lógico. Popper (1975) distingue muito bem os conceitos científicos dos tautológicos, ao identificar seus critérios que caracterizam uma teoria como *científica ou não*. A advertência é acatada, mas não o modelo desta epistemologia racionalista. No interesse educacional, o modelo interativo entre Sujeito e Objeto é o mais indicado. Nas ações educativas, os sujeitos são determinantes. Quanto ao desenvolvimento em CN, comungamos com as tendências que incorporam a apreensão do ato de conhecer na relação entre o sujeito e o objeto. As posições de Piaget e Garcia (1986) sobre essa relação na perspectiva estruturalista são bastante ricas. Os teóricos que discutimos no capítulo 2 admitem este modelo.

A origem da idéia de transformação é necessariamente remota. Os homens primitivos que gravaram inscrições em cavernas manifestaram um reflexo de observação, reflexão e ação sobre um mundo em movimento, que merecia registro e, ainda que não plenamente consciente, divulgação. Está presente nos escritos sistemáticos dos gregos de várias escolas. Sobejamente destacada por Heráclito (Jaeger, sd, Silva, 1974), é também marcante para Aristóteles, embora para o último sejam transformações cíclicas, harmônicas para justificar seu modelo de universo (Silva, 1974). "transformação" → processo contínuo, sem interrupção, de mudança de estado.

Influentes pensadores da era medieval e da pré-ciência também se utilizaram dela, mas de certa forma negando ou limitando a possibilidade de intervenção humana sobre a natureza. A possibilidade do mundo ser cognoscível, sustentada por Aristóteles, era assimilada mais pela ótica da contemplação.

O enfrentamento do Homem com a Natureza, além de amplamente incorporado, foi cada vez mais intensificado pelos empreendimentos da C&T. Apesar das críticas ao Iluminismo, mesmo à sua substituição dogmática no vazio dos antigos dogmas religiosos, somos obrigados a reconhecer que o sentido atual do conceito de transformação é muito mais profundo, crítico e não mais vinculado ao determinismo e à previsibilidade do que anteriormente. Parece que a baliza 'temática' prevalente (concepção de Holton, a do eixo 'z'), como referência para observar o mundo, passou, da harmonia das transformações dos gregos até Kepler, para as possibilidades totais do determinismo, do século XVII ao início do XX. De lá para cá, a esfera do probabilístico ou do relativamente determinado é a baliza.

Infelizmente, nos bancos escolares, essa categoria da Transformação é bastante desprezada. Prevalecem os nomes sem os significados, as definições para memorização, e mesmo nos cursos de graduação em CN, para professores, tecnólogos e engenheiros, seu sentido essencialmente dinâmico é pouco acentuado.

Ressalto que a atual compreensão do conceito admite as mudanças de conteúdo, além das formas ³. Como não disponho de vocábulo para expressá-las, nem acredito em neologismos do tipo "transcontinental" ou "transconteudar", proponho que seja mantido o termo *transformar* no sentido contemporâneo.

Embora ausentes dos currículos de CN, tais transformações radicais são hoje bastante divulgadas pelos meios de comunicação. Divulgadas, mas nem sempre criticamente compreendidas, porque o conhecimento em CN, em nossa sociedade, é descolado da vida cultural das pessoas.

O conceito de transformação é unificador /supradisciplinar e será um dia, que esperamos não distante, inter/transdisciplinar, porque permeia a atividade em C&T em qualquer campo e nível de atuação. Pode auxiliar na compreensão dos diversos aspectos deste conhecimento; dele podemos fazer uso quando do ensino-aprendizagem de temáticas significativas em qualquer nível de escolaridade.

As crianças se iniciam no mundo da percepção ao começar trabalhando suas perplexidades frente ao meio, identificando inicialmente as mudanças das coisas, os seus movimentos, bem antes de perceber com independência as categorias de espaço e de tempo. Primeiro percebem as velocidades, os movimentos, as transformações dos objetos familiares diante de seus olhos. A base empírica da teoria piagetiana se apóia nestas afirmações ⁴.

A ciência ou pseudociência embutida nos currículos das escolas não destaca essa categoria. Infelizmente os professores de CN também não. Não habituados a se utilizarem de '*universais*', não poderão abrir caminhos para apreensão de conhecimentos estruturados na área.

É certo que a metodologia utilizada é determinante, certo também que defendemos o diálogo entre educadores e educandos, no sentido freiriano; que a opção de estudos pelo viés temático, problematizador e dialógico se dá mediatizado por algum conhecimento científico. Esse que priorizamos é pelas conceituações que facilitam totalizações.

Há, assim, muito que enfrentar no espaço escolar. Por exemplo, conteúdos e metodologias não dissociados, CN para a sociedade, em particular Física para a sociedade (Solomon, 1983 e 1990; Zanetic, 1990).

Os conteúdos por si só não se sustentam, mesmo quando determinados por temáticas significativas. Conceitos se sustentam e participam na estruturação do novo saber. Conceitos que vazam saberes de diferentes disciplinas, que fornecem a chave para as ligações entre as 'garrafas de saber', os conteúdos.

Desde as mudanças, movimentos das coisas, na percepção infantil, à utilização das 'transformações de fase' em Física, Química e Biologia, em inúmeros fenômenos complexos, a categoria está presente. Todos os tipos de movimentos analisados tão criteriosamente pelos professores de Física (MRU, MRUV, MCU...), todas as reações químicas balanceadas pelas valências tão preciosas aos professores de Química, todas as modificações celulares que os docentes em Biologia tanto prezam (mitoses, meioses) podem ser apreendidas pelos alunos, sob a perspectiva desta categoria. Como não há preocupação com as totalidades, a aprendizagem, quando ocorre, se caracteriza por fragmentos isolados que não se comunicam nas memórias e inteligências dos alunos. Claro, não é sua a culpa.

O ensino de CN deve tratar do que a Ciência fez, faz e provavelmente fará. Estudam-se e aplicam-se transformações em C&T. A categoria merece destaque especial e pode reduzir distanciamentos ou isolamentos entre o epistemológico e o pedagógico.

Valorizar as transformações concebidas na forma mais avançada é altamente positivo. Entretanto, caso não tenhamos um roteiro, regras para categorização das distintas transformações à nossa volta, estaremos literalmente perdidos e muito distantes do conhecimento científico e tecnológico.

No interesse da democratização do conhecimento científico e tecnológico, as transformações não aparecem nunca sem a sua outra face, as REGULARIDADES que passaremos a discutir.

5.2- REGULARIDADES

„Concluiu Aureliano que todos os dias eram segundas-feiras.”

(Garcia Marques)

Com uma abordagem distinta das anteriores, a Ciência vem trabalhando exaustiva e continuamente REGULARIDADES. Essa categoria unificadora, complementar à primeira, é também antiga, muito anterior à própria C&T, tomados esses empreendimentos na sua modernidade, do século XVII para cá.

Em síntese, o que os homens de C&T têm feito desde os primeiros tempos desse conhecimento sistematizado em construção continuada, é perguntar onde estão e como podem ser desveladas as regularidades nas transformações da matéria (e da energia) no espaço e no tempo (ou no espaço-tempo).

A formação em Física nos direciona para esta categoria ampla. Num texto clássico criativo e pouco ortodoxo, muito pouco utilizado em cursos de Física (no Brasil e fora também), Feymann (1973, vol 3) convida o estudante (já avançado em Física) a procurar o *invariante* de qualquer problema que está estudando/pesquisando. Ao dizer "procure seu invariante", está valorizando enormemente as regularidades. Implicitamente, está dizendo que, sem elas, as soluções aos problemas não avançarão.

O regular é a obediência às regras das teorias e modelos que procuram copiar a natureza, com a melhor validade para a sua época. As teorias substituídas por outras, mais explicativas e densas, menos frágeis para a época. Contudo, as novas estão também carregadas de regularidades. Mesmo quando se atingem novas dimensões do conhecimento, com as recentes abordagens dos fenômenos não lineares (consultar nota 16 do cap.1), mapeamentos por equações cujas soluções demandam computadores avançados, as regularidades são atingidas. Ainda que não tão simples como as anteriores, estão encobertas de início, para saltarem com novas abordagens⁵. Em C&T, sempre se buscam regularidades; ao encontrá-las sempre se conhece mais.

Regularidade provém, etimologicamente, de "regula"; tanto "regra" (qualidade, repetição, simetria) quanto a complementar "régua" (medida, padrão, quantidade) dela derivam.

O peso dessa categoria unificadora se reflete em várias linhas de pesquisa de ponta. Por exemplo, na busca de uma Teoria Unificada de Campo, onde uma suposta força única será suficiente para se deduzirem todas as interações do universo, no presente, passado e futuro. Já nos referimos a essa questão quando da discussão, no capítulo 2, da presença da dimensão dos

"themata" no conhecimento científico (Holton, 1979). Em recente artigo de divulgação, o problema e o estado da arte são debatidos por Robilotta e Rodrigues (1990).

Em Química, sabemos desde 1869, com o trabalho de Mendeleev (Bernal, 1969, vol.3, p. 580), que pouco mais de cem elementos formam todas as coisas materiais, combinam-se mediante afinidades, se exibem para nós, e em nós, nos tipos de materiais vivos e não vivos dos mais diversos. Alguns poucos elementos 'exóticos' são fabricáveis, foram obtidos em laboratório, sempre em lapsos temporais, mas conquistados pelos homens de Ciência.

Em Biologia, com os avanços do seu ramo 'molecular', verificou-se que uma só estrutura, o DNA, parece definir todos os seres vivos. É regularidade bastante para ser destacada no ensino de CN. Neste campo fascinante do estudo da vida, destaca-se inicialmente a regularidade de formas e tamanhos, manifesta, impressa pela natureza, na unidade da matéria viva - o organismo individual. Como afirma Weisskopf,

"faz sentido falar em 1.000 bactérias, 1.000 roseiras ou 1.000 leões, unidades que são muito maiores que as unidades da matéria, as moléculas."
(Weisskopf; 1973: 69)

A matéria viva é presa às formas. Não faz sentido falarmos em 1.000 pedras, pois aqui a matéria em equilíbrio se manifesta em multiplicidades, aparentemente inerte e macroscopicamente morta, porém não presa à homogenia das formas. A matéria longe do equilíbrio, como afirma Prigogine (ver cap.2, item 2.4), deixa de ser cega, passa a enxergar.

Na escola, quase todos os conhecimentos ainda estão cegos, ou com vendas difíceis de serem retiradas, pelos educadores inclusive. O destaque para essas e outras regularidades da matéria (e também da energia, a ser discutida no próximo item) pode auxiliar a todos a desvelarem o conhecimento escolar de CN.

Enquanto as transformações são aparentemente infinitas em possibilidades, as regularidades, pelo menos aparentemente, não são tantas. São relativamente poucas, mas intensas demais, suficientes para auxiliarem sobremaneira a sistematização quali e quantitativa das transformações. Não são suficientes, contudo, para nos garantir 'a verdade'. Garantem verdades apenas.

O conceito unificador de regularidade é fundamental para a educação científica cultural, pois auxilia a compreensão da semelhança entre as transformações, das repetições, ciclos abertos e fechados, das invariâncias. É preciso enxugar os estudos diversos, identificar o que é comum na aparente diversidade infinita.

A dualidade transformações-regularidades se alimenta mutuamente e se auto-regula. A nosso ver, supera a dualidade clássica também essencial, da 'semelhança-diferença', porque esta dificilmente escapa das análises estáticas ou estacionárias, por não incorporarem, usualmente, a dimensão do tempo. Ao contrário, se privilegiarmos a primeira dualidade, estaremos, desde o

ponto de partida, associando as observações mediante o duplo enfoque da mudança e da permanência, impossíveis de serem concebidas somente no espaço.

Ao incorporar aspectos de natureza qualitativa (regra) e quantitativa (regula), regularidades colocam em ordem o caos e a dispersão do mundo analisado mediante o prisma do conceito aberto de transformações. Sem aquelas, estaríamos até hoje catalogando, sem sistematizar, os 'n' eventos à nossa volta, sem critérios para agrupá-los e sem a rota para o caminho das sínteses e das 'boas teorias'.

Pode parecer óbvia para os epistemólogos e os poucos associados do pequeno clube da 'Ciência dos cientistas' a utilização do par de conceitos complementares que estamos a explicitar. Entretanto, não é óbvio para as 'outras ciências', aquelas das escolas, dos currículos, professores e alunos.

Também para aqueles do eventual reconhecimento do óbvio, afirmamos que alguma compreensão adquirida por eles na maturidade poderia ter sido antecipada, caso seus programas e currículos tivessem sido exercitados pelos professores na direção de explicitar, com vários níveis de profundidade, as potencialidades dessas categorias unificadoras, mesmo na educação tradicional a que foram submetidos.

Com relação ao ensino de CN para a cidadania, para os estudantes que, em grande maioria, não seguirão carreira afim ao campo de C&T, o uso dos conceitos transdisciplinares reforçará níveis de apreensão agrupados e sintetizados, indicará elementos que identificam o que é importante e o que é secundário no conhecimento cultural de CN e de Tecnologia.

Os vários projetos de ensino de CN da década de 60 priorizaram o conhecimento da área voltado para o despertar vocacional dos alunos, enfatizando os méritos da 'ciência pura'. Lewis (1976, pp. 229/230) justifica o padrão dos projetos 'PSSC', americano, e 'Nuffield, level O', inglês, elegendo três componentes básicos para um curso de Física, a saber: para o espírito empreendedor, para a ação e para cidadãos. Nos anos 80, temos em vários países, inclusive no Brasil, tendências que elegem o primado da cidadania como justificativa maior do ensino de CN. Por exemplo, consideradas as 'diferenças nas semelhanças', Solomon (1983) na Inglaterra, o projeto PLON, holandês, e o nosso projeto GREF do IFUSP, no Brasil. Nosso entendimento segue nessa direção; cada coletividade terá aqueles que se decidirão pela carreira científica e não há nenhuma variável a controlar nesse processo. Ademais, essas tendências não pretendem baratear o conhecimento em C&T; ao contrário, valorizá-las criticamente ao tentar inseri-las culturalmente. A tentação de utilizar contribuições estrangeiras concebidas e elaboradas para outras sociedades como a inglesa e a holandesa não é sentida pelos pesquisadores em Ensino de CN, pelo menos pelos grupos que mais conheço e interajo. Sabemos dos modismos que dirigem a área, que a 'interdisciplinaridade' bem como o ensino guiado pelo conjunto 'Ciência, Tecnologia e Sociedade' estão na berlinda. De nossa parte, podemos afirmar que temos essas preocupações há tempos e cuidamos para não sermos envolvidos pelas novas palavras de ordem.

Ao defender proposta que elege valores conceituais e universais das CN, estou defendendo a aquisição, pelos escolarizados, de domínios cognitivos do pensamento formal, da abstração reflexiva, aquela que reflete sobre o objeto na sua ausência, que por ser conhecido em suas múltiplas dimensões e limites é dispensado de presença, pois *concebido* (Piaget, 1973).

Contudo, nada temos contra a introdução mais substancialista destas categorias, quando os domínios cognitivos não aceitam ainda as formulações efetivamente conceituais. Lembremos do primeiro grau de escolaridade, onde está a imensa maioria de nossos estudantes, alienados do conhecimento em CN que desejamos seja partilhado.

Regularidades estão associadas a invariâncias, às noções de conservação e aos princípios de conservação amplamente utilizados nas teorias da Física e demais CN, a ciclos abertos e fechados, às determinações da ciência clássica bem como da contemporânea.

Regularidades são detectadas pelas comunidades primitivas e iletradas, no movimento das estrelas e planetas, no ciclo das águas, com cheias e secas, nos relógios biológicos, com flores e frutos. São inicialmente detectadas na infância, com a 'descoberta' das permanências dos sólidos ao redor. Entre as noções do saber comum e do científico existem descontinuidades a serem trabalhadas, no conflito, nas aulas. Uma das grandes tarefas da educação escolar.

À semelhança do anterior e com ele, este conceito unificador poderá ser usado para resgatar, na perspectiva cultural, o que a Ciência fez, faz e provavelmente fará. É acessível e, sendo acessado, poderá ser usado por qualquer cidadão.

A negação do tautológico também aqui está presente, não cabendo correlações indevidas para nossa compreensão. Por exemplo, o movimento regular dos astros e sua influência no "destino dos homens", um modismo cada vez mais presente em nossos dias. A nosso ver, a sociedade terá muito mais instrumento para controlar e mesmo combater os aspectos negativos gerados por C&T, quando seus membros alcançarem um razoável conhecimento da área, não derivando por caminhos estranhos à meta dessa conquista.

5.3- EXEMPLO DE APLICAÇÃO DIDÁTICA: UM TEMA E DOIS CONCEITOS

COMBUSTÕES: O QUE SE TRANSFORMA, O QUE PERMANECE?

Professores de CN de primeiro grau, mesmo os polivalentes de primeira a quarta séries, em geral não conseguem articular, para fins de conhecimento e, por consequência, de ensino, temas significativos. Não obstante o número atual de publicações paradidáticas, prevalece ainda na imensa maioria das salas de aula a imposição dos 'Livros de Ciências', com todas suas limitações e mistificações. Em geral, tais professores são licenciados em Biologia (quinta a oitava séries), Magistério e/ou Pedagogia (nas séries iniciais). Paradoxalmente, lecionam Ciências, no plural, sem formação apropriada para a tarefa.

Embora nosso tema não possa ser identificado com a concepção freiriana, por não emergir de um prévio levantamento temático, ele encerra conhecimento supradisciplinar; é ensinado aos pedaços no primeiro grau, e carrega traços de contradição da nossa sociedade. De fogos e balões sazonais, de queimadas na Amazônia, de digestão de alimentos, ou falta de digestão por deficiência alimentar.

No exemplo, supomos interlocução com professores; o tratamento do assunto com alunos é vinculado ao repertório de conhecimentos, cognição, critérios de interesse regional e metas que se pretenda atingir.

Na perspectiva unificadora das transformações, caracterizamos inicialmente as combustões concretas e evidentes. Exemplos:

- palitos de fósforo, papel, parafina (velas, pavios), óleo de cozinha. Realizam-se ensaios e promovem-se discussões sobre as transformações evidentes, macroscópicas;
- semelhanças e diferenças com a queima do carvão, evocando-se o braseiro de churrasqueiras. Por exemplo, neste caso, a combustão não resulta em água como nos anteriores, conforme se pode verificar por um pedaço de vidro que não fica embaçado quando aproximado do braseiro;
- gás de cozinha, álcool, metanol e gasolina, na mesma perspectiva, com introdução de tabelas de poder calorífico, para acentuar quantitativamente as diferenças entre os combustíveis de mercado. Debates atuais, como a viabilidade de uso do metanol em larga escala, podem e devem ser realizados, com pesquisa bibliográfica;
- cigarro, queimadas e incêndios, na mesma perspectiva;

- resíduos, cinzas, gases tóxicos liberados (cheiro característico de materiais queimados), materiais poluentes;
- queimaduras, comportamento de tecidos afetados. Não se trata de treinar 'primeiros socorros', mas sim de conhecer os resultados das queimaduras. Professoras de CN são muito confundidas com 'enfermeiras' - não se pretende reforçar esta confusão;
- cozimento, alimentos e suas transformações depois de preparados. Por que pré-cozer alimentos? Diferenças entre carne 'bem e mal passada' para o aparelho digestivo; - combustões de outra natureza, sem liberação de chamas, como os processos de respiração e digestão;
- materiais que não queimam, mesmo a altas temperaturas, em contraposição aos anteriores e àqueles que queimam 'espontaneamente', como a vegetação na seca;
- metais que queimam, como o magnésio; reações altamente energéticas semelhantes a combustões, como a interação de sódio com água.

Na dinâmica das discussões, mantido o tema, localizam-se regularidades nos eventos, não necessariamente após as ênfases nas transformações terem se encerrado. Embora os dois conceitos unificadores de primeira ordem tenham sido apresentados aqui em série, não se deve aplicar essa linearidade por ocasião das ações educativas. O par conceitual unificador será mais útil quando trabalhado em paralelo. Na produção de textos de apoio, estarão imbricados. Assim,

- a participação constante de combustível e comburente; em particular dos compostos derivados do carbono em combinação com o oxigênio da atmosfera;
- a liberação de calor acompanhada da emissão de luz na maioria dos casos. As chamas são afinal substâncias ou não?

(Discussão da teoria do flogístico, sua contextualização.)

- a liberação de gás carbônico e de água na maioria dos eventos;
- relações de energia, fornecimento inicial, reação em cadeia e liberação em quantidades maiores, quantificações

(transformações e conservação total das formas intervenientes);

- aparentes mudanças de massa, ilusões decorrentes da observação macroscópica. Constatação de que a massa total do material queimado é 'menor' (como intuimos) que a massa total de materiais anteriormente à transformação. Discussão da teoria do calórico. Afinal, calor é uma substância?
- ensaios para verificação da conservação da massa. Queima de metais- exceção aos materiais carboníferos e contra-exemplo de perda de massa macroscópica. Confronto entre teoria de Stahl (calórico) e Lavoisier (conservação da massa), conforme sugere e viabiliza Beltran (1987);
- substâncias simples e compostas, moléculas distintas como entidades estáveis em certas condições. Níveis de energia moleculares e atômicos;

- combustões enquanto reações de inúmeros compostos fabricados, resultantes de combinações espaciais dos elementos químicos. Reações moleculares e atômicas;
- ligações químicas, afinidades do carbono e diversidade de compostos.

Pode-se ainda levantar e discutir questões de natureza mais profunda, como:

- estabilidade atômica, identidade atômica, troca de mesmas frequências de emissão/absorção, regeneração atômica quando liberados vínculos externos que os alteraram;
- insuficiência ou inadequação do modelo 'planetário' para explicar as propriedades manifestas pelos átomos nas interações. Transição para noções da teoria quântica. Crítica às generalizações dos modelos macroscópicos para o universo microscópico;
- afinal, a massa se conserva, como propôs Lavoisier, ou não? Para além dos níveis atômicos, níveis nucleares;
- a questão da massa-energia, reações ('combustões') nucleares. Níveis de energia, mudanças de escala. Familiarização com o quantitativo e uso das unidades energéticas (Joule, Eletron-Volt, Kilowatt.hora);
- discussão e leitura de artigos sobre as teorias Quântica e da Relatividade, a nível de divulgação.

O tema ainda aponta para estudos de Biologia atuais, em particular os mecanismos da respiração e digestão enquanto sistemas abertos, em contínua interação com o ambiente. Reações de síntese energética, em especial a realizada pelos vegetais na presença de luz (fótons), podem ser também discutidas, não somente no aspecto descrição/nomenclatura.

Grandes questões encerram o tema, indicando outros e também as limitações atuais da C&T, como:

- O que é vida? Por que a matéria viva é tão distinta da inanimada?
- Novos materiais, compostos de difícil combustão, muito mais estáveis que os de mercado atuais.
- Fissão nuclear e fusão nuclear. Significado, potencialidades e perigos. Efeitos da radiação.
- Tecnologias 'duras', que se apóiam em fontes não renováveis como o petróleo, e 'moles', de tendência atual e do futuro, apoiadas em projetos alternativos com fontes renováveis como energia solar e inseridas em amplos programas de interesse ecológico.

Por fim, mas não necessariamente nas últimas reuniões da equipe, possibilidades didáticas e adequação do conhecimento relacionado ao Tema acessível aos alunos. Mudanças de postura, desapego aos livros didáticos enquanto único instrumento de preparação de aulas, desmistificação do laboratório instalado ou não, enriquecem a aprendizagem. Sobretudo, como mudar a postura de professor que 'ensina' para professor que dialoga saberes distintos, que problematiza o saber dos alunos e o seu saber, que, usando a temática e os dois conceitos unificadores em destaque, está mais próximo de conquistar um saber voltado para totalidades; pluridisciplinar, que lhe será útil no ensino de CN. Também, como utilizar a História da Ciência para revelar a substituição de

teorias e, assim, contribuir para que os alunos adquiram uma visão mais crítica e correspondente do que venha a ser Ciência.

Se a listagem é enorme, se a densidade dos 'conteúdos' é quase inacabável, há que se estruturar um programa de estudos que aponte para alterações curriculares. Tarefa urgente da educação escolar e dos envolvidos no ensino de CN.

A tarefa de preparar materiais de apoio não é tão imensa como se supõe. Inúmeras publicações atuais disponíveis nas escolas, nas bancas, nas universidades, dão conta desse conhecimento. Trata-se mais de organizá-los e adaptá-los à temática e ao grupo de estudos. Por exemplo: boa parte das questões afetas às combustões que aqui apresento pode ser encontrada, com lógica distinta, numa publicação de Weisskopf (1973). Textos como esse infelizmente não estão presentes nos cursos de formação de professores, nem são muito usados nos treinamentos em serviço.

Aspectos de formação daqueles que direcionam os cursos são determinantes para sua condução, para indicações bibliográficas e roteiro de experiências. Em geral, assuntos ligados à Física e à Química são descartados. Como a área é dominada por professores de Biologia, prevalece o 'ensino' desta ciência. A condução e a busca de conteúdos renovados, temas significativos para o primeiro nível de escolaridade, devem ser conjuntas (na direção interdisciplinar), com participação dos especialistas das três áreas, para se atingir níveis críticos e relativamente integrados do conhecimento em Ciências (no plural).

NOTAS E REFERÊNCIAS V

- 1.- Refiro-me a qualquer interação, por exemplo às combinações entre elementos que formam compostos - Hidrogênio e Oxigênio -> Água; reciprocamente às decomposições - Água -> Hidrogênio e Oxigênio.
- 2.- Num programa elaborado e aplicado em turmas iniciais, de primeira a quarta séries elementares, iniciamos a alfabetização em CN a partir destas mudanças das 'coisas'. O trabalho foi desenvolvido em Natal, no projeto 'Ensino de Ciências a partir de Problemas da Comunidade', SPEC/PADCT/CAPEs. Boa parte deste programa está reproduzido em Angotti & Delizoicov, 'Metodologia do Ensino de Ciências', Série Formação do Professor, Cortez, 1990.
- 3.- Consultar, sobre 'estruturas imutáveis' e 'essenciais', Roque da Silva, L.C., 'Ciência Grega', in História da Ciência, SPaulo, USP, 1974, pp. 27/83. Outras publicações menos condensadas são Mason, H. 'História da Ciência' Globo, Porto Alegre, 1973; Bernal, J. 'História Social da Ciência', Vol. 1, Lisboa, Horizonte, 1969. Quando falamos de mudanças de conteúdo, nos referimos às múltiplas possibilidades de interação que criam e/ou aniquilam pares de partículas em reações altamente energéticas, como o elétron e o pósitron. Também, às reações nucleares espontâneas de decaimento, como as de reatores construídos. Consultar Cap. 2, seção 2.2, desta tese.
- 4.- Ver Piaget & Inhelder; 'O Desenvolvimento das Quantidades Físicas nas Crianças', Vozes, Petrópolis, 1975. Em todas as publicações de Piaget estas afirmações estão presentes, mesmo as explicitamente epistemológicas. Consultar Piaget, 'A Epistemologia Genética', Petrópolis, Vozes, 1973; Piaget & Garcia, 'Psicogênese e História das Ciências', Dom Quixote, Lisboa, 1987.
- 5.- Dias e noites são regularidades, estações do ano também, das mais simples e diretamente observáveis. Nos extremos atuais da pesquisa, fenômenos complexos, antes 'caóticos', mostram regularidades que antes eram encobertas. É uma imagem que faço da contribuição de 'ordens implícitas' de Bohm, assumindo a similaridade do nosso entendimento de regularidade com o seu, de ordem, tanto implícita como explícita. Como exemplo, encontramos soluções com faixas de estabilidade na equação não linear das mais simples: $x_{i+1} = x_i \cdot k(1-x_i)$, para certos valores de k ; está em Caos, de Gleick, Rio de Janeiro, Campus, 1990. Soluções discutidas da equação, com bifurcações e aplicações em economia, podem ser encontradas em 'Chaos and Fractals: New Tools for Technological and Social Forecasting', in 'Technological Forecasting and Social Change', n. 34, 1988, pp. 01/25).

CAPÍTULO 6 - CONCEITOS UNIFICADORES DE SEGUNDA ORDEM

*Die Energie der Welt ist konstant.
Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.*

(Clausius)

6.1 - ENERGIA

O terceiro conceito unificador que vimos utilizando sistematicamente como baliza para busca de unidades estruturadas de saber não foi identificado pelos homens anteriormente ao advento de C&T modernas. É recente mesmo para esse conhecimento, tendo sido apreendido pela comunidade em meados do último século.

Esse algo que ‘muda mas ao mesmo tempo se conserva’ sempre esteve nas consciências dos estudiosos, muito antes da Ciência Moderna. Enquanto ‘desconfiança’ de existência, manifestação (da comunidade de estudiosos, ou mesmo dos homens) a nível do ‘eixo z’, dos ‘themata’ de Holton (ver cap.2, item 2.5), energia esteve sempre latente, porém não definitivamente conquistada até 1842/43. A nova idéia foi socializada e aceita enquanto saber instituído, pela comunidade, somente algumas décadas mais tarde. Houve resistências ao novo saber; apesar daquela crença, a desconfiança se manteve por algum tempo.

Dentre todas as grandezas de que dispomos em C&T, energia é a que mais incorpora as duas anteriores, com forte traço transdisciplinar. É uma tradução interna, uma autêntica propriedade, abstrata, profunda e formal do conhecimento em C&T, com ‘vazamentos’ para todos os atuais campos de conhecimento. Não estruturável, não palpável como a massa, essa grandeza merece cada vez mais destaque nos estudos sistemáticos de CN.

Parte da dificuldade da explicitação desse conceito reside na sua ‘imponderabilidade’. É certo que não há espaço para fantasmas em Física/Ciência, mas ela, a energia, muitas vezes aparece/desaparece num ‘pluft’ para o observador comum, mesmo para os professores de séries iniciais.

A História da Ciência nos aponta para seu potencial unificador no último século. Antes, eram modelos separados para: flogístico, calórico, eletricidade (também como fluido), magnetismo; todos conceitos impregnados pela idéia de substância (reflexos diversos do ponderável, das ‘coisas’, da massa enfim).

Depois, não sem resistências da comunidade, unificações enormes e síntese de conhecimentos, até então separados, foram alcançadas. Palavra, significado, potencialidades, formalismo, e

sobretudo a conservação, nascem com a descoberta da idéia há tempos suspeitada, caracterizando o novo conceito. Palavra explícita para Clausius em 1865, mas confundida com 'força-kraft' por Helmholtz no seu ensaio brilhante de 1848¹.

Não foi descoberta fácil, resultante de 'insight' de algum gênio. Ao contrário, reuniu interesse de vários pesquisadores que, à distância, empreenderam esforços de unificação. Aqui temos um exemplo de totalização ímpar, resultante do mergulho profundo e crítico nos fragmentos cada vez mais revelados. É a dança alternada entre F&T tão discutida anteriormente, é a superação de conhecimento dissociado, que atinge novas ordens, no sentido de Bohm.

A fascinante trajetória dessa descoberta, suas implicações e vinculações sociais com a Europa da época, enfim sua relação externalista do Tecnológico ao Filosófico, estão muito bem revelados por Khun(1959)².

A utilização sistemática das transformações de energia nos eventos, associada à sua conservação total para sistemas isolados, pode facilitar no ensino de CN a apreensão de unidades de conhecimento. Permite totalizações entre fragmentos dos escopos da Física, Química e Biologia, e de outras ciências congêneres, como Geologia e Astronomia, além de totalizações a nível intradisciplinar.

Energia é o conceito mais adequado e mais potente para estabelecer, mentalmente, comunicação entre 'conteúdos' encerrados em 'garrafas de saber'. Conteúdos necessários por um lado, não suficientes por outro.

A soma dos conteúdos não equivale ao todo, às totalidades que suplantam a soma das partes.

Mesmo no terceiro grau, seja na formação de professores de CN, seja na formação em Engenharia ou áreas afins, sabemos das dificuldades que acompanham os estudantes quando tentam extrapolar a justaposição, a soma indutiva dos 'conteúdos' tão aparentemente distintos. Embora o termo tópico 'Energia' seja hoje assunto relativamente destacado nos cursos de Física Básica, não se verifica contribuição suficiente, a nível de ensino-aprendizagem, para as totalizações que defendemos. A grandeza tem sim esse potencial, mas vem sendo mal utilizada.

O que dizer, ainda nesse nível (graduação), das carreiras não afins? É lamentável nos darmos conta que conhecimento de C&T é visto como assustador para a maioria dos alunos de outras áreas. Não raro discriminado com repulsa, pela forma com que ele é transmitido (imposto, sem discussão), como também pelos assuntos/conteúdos priorizados. Conteúdos mortos, acabados e opacos que não revelam nem representam o conhecimento crítico, atualizado e minimamente estruturado de C&T para profissões e para a cultura.

Afirmo que uma ação teórico-crítica nas possíveis intervenções em educação, com uso desse conceito unificador, poderá contribuir significativamente para a inserção cultural de C&T em nossa sociedade. Ainda, enquanto 'agente das transformações', energia poderá e deverá, num futuro não distante, emergir socialmente como conceito tão ou mais importante do que o conceito primitivo de massa. Melhor para os educandos, que terão chance de alcançar concepções sobre o

universo em sua dinâmica. Terão chance de enfrentar, com maiores recursos intelectuais, o conflito entre matéria e forma e também entre matéria e consciência.

A imponderabilidade do conceito, que sempre dificultou sua efetiva compreensão e utilização, se superada resultará em ganhos culturais, conseqüentemente sociais. Trabalhar essa abstração, com sua dificuldade intrínseca, é também tarefa da educação escolar, em particular do Ensino de CN. Discussões sobre os eventos econômico-sociais serão mais efetivas e melhor encaminhadas nos espaços de ensino-aprendizagem de CN. Também, conscientização e desempenho crítico dos cidadãos estudantes. Evidentemente, não resolverá tudo, uma vez que não se altera uma estrutura educacional com propostas.

Um conhecimento social bastante presente nos meios de comunicação, ainda subtraído da educação escolar, deve ser destacado. Pode-se negar a melhor capacitação de os sujeitos compreenderem as notícias de um bom jornal, quando formados para interpretar as informações presentes nas publicações? Energia está lá, nos jornais, na TV, nas revistas, nas decisões políticas que envolvem infra-estrutura. Essa energia não está na escola.

Os professores de Física, Química e Biologia enfrentam dificuldades na leitura de periódicos de divulgação atualmente nas bancas, como 'Ciência Hoje' da SBPC, principalmente os artigos sobre tópicos contemporâneos do seu campo de formação, mais ainda artigos sobre tópicos contemporâneos ou não fora do seu campo de atuação. Energia está lá, permeando todos esses artigos. Mesmo implicitamente, está lá!

No ensino, energia ainda é sombra das grandezas clássicas consagradas pelas teorias clássicas, como massa e força. Sua definição a partir do conceito difícil de trabalho físico é incompreensível e distante³. Não podemos continuar por esse caminho.

Perguntamos: é preciso mesmo definir a grandeza? Se a questão é absurda, porque nos contentamos em não definir massa, espaço e tempo? Responder que são grandezas primitivas é razoável para a 'Ciência dos cientistas'; não é para as 'demais ciências'.

Na contramão do ensino escolar, a grandeza vem sendo vulgarizada pelos meios de comunicação, assemelhada a bem-estar e saúde, provocando mistificações. Também por aí não será o caminho. Porque não problematizar essas informações de início, na introdução do conceito? Daí, porque não prosseguir possibilitando os saltos das interpretações substancialistas para a abstrata, na abordagem conceitual que não abre mão do significado? É possível, embora reconheça que não é fácil.

A definição via '*capacidade de realizar trabalho*' é cíclica e pouco diz para a maioria. A utilização de formalismo para a definição de trabalho físico, com forças projetadas ao longo do deslocamento, serve mais para se discutir um pouco de trigonometria (função co-seno) e reforçar uma vez mais operações com vetores, do que para se conceber Trabalho Físico (consultar referências da nota³). Por imperativos da cognição, não posso defender a utilização formal de energia vinculada aos conceitos de 'estado', 'sistema' e caracterizar a grandeza como uma 'função

de estado' 4 . Isso é necessário num bom curso de graduação, conduzido de forma muito mais articulada do que os atuais (consultar cap.7, item 7.3).

Um trabalho conjunto de professores das várias CN poderá indicar certamente criatividade na utilização do conceito. Sobretudo a níveis de segundo e primeiro graus, essa tarefa é urgente. Associar o conhecimento sobre o assunto somente ao campo da Física aprisiona subjetivamente um conhecimento que pode ser essencialmente transdisciplinar.

Como exemplo dessa falta de sintonia, ressalto que, em Biologia, estabelece-se enorme confusão entre unidades da grandeza. Verifico, infelizmente, que professores de CN oriundos dessa área confundem a Caloria (Cal) da Biologia (na verdade kcal, ou 1.000 cal), com a caloria (cal) da Física e Química. A maioria não percebe o erro ; estou me referindo a graduados em Biologia, Nutrição e Ciências Biomédicas. É o mesmo engano que alguém faz, inadvertidamente, entre um grama e um quilograma. Neste caso, todos os professores concordam com os 'absurdos dos alunos'. No outro, parecem não perceber, ou julgam desnecessário corrigir.

Nem tudo vai mal, porém. Insisto que publicações recentes apontam para situações criativas de ensino-aprendizagem da grandeza, na direção de totalizações. Por exemplo, vários artigos publicados por 'Ciência Hoje' fazem menção à grandeza, utilizam-na sistematicamente e procuram extrapolar o conhecimento interno para o social, de interesse geral. Todas as publicações sobre acidentes nucleares, em particular o de Goiânia (Ciência Hoje, n. 40, maio/1988.) discutem os efeitos, no caso nocivos, sob o prisma da grandeza. Será isso proibido nas aulas de CN ? Por que continuamos obedecendo cegamente à orientação dos textos ?

Temos, em particular, material didático produzido com esse aporte; será destacado, como exemplares voltados para os três níveis de escolaridade (CN no primeiro, Física no segundo e terceiro). Esse material não despreza as definições, nem sofisticava em demasia os 'conteúdos'. Procura oferecer alternativas aos docentes, com a meta de minimizar os resultados pobres e excessivamente fragmentados do atual ensino de CN 5 .

A alegada incapacidade dos alunos de todos os graus de escolaridade não contribui para implementarmos nosso ensino na direção que Snyders e muitos de nós pretendemos. Artefatos, aparelhos, instrumentos são sempre interessantes e potencialmente 'temáticos', para deflagrarmos situações de ensino com prazer e alegria. E com resultados 6 .

Os alunos de nível colegial estão prontos para apreensão segura do conhecimento em C&T. Temos a nosso favor o encantamento que os produtos de C&T provocam nos adolescentes. Nada de errado, nada de perverso, nos utilizarmos desse expediente favorável. Um ensino crítico não tratará somente dos produtos e dos benefícios de C&T.

Se há beleza no conhecimento em Física e em CN (e como há!), ela está escondida na escola. Vale a pena um esforço para substituir o árido, o feio, pelo belo e útil, tanto intelectualmente como para a vida, mesmo não sendo fácil e leve a empreitada.

Pelo lado do tratamento teórico, estético e unificado dos fenômenos, via utilização de energia, há um caminho promissor. É fazê-lo, enquanto tarefa nossa, de educadores em CN.

Estamos em fase de transição. Toda transição, felizmente, se pauta pela instabilidade, pela falta de certezas. A proposta que faço é uma e não exclui outras. Na transição e mesmo nas fases posteriores mais estáveis, há espaço para a convivência de propostas similares, diferentes na semelhança, mas não antagônicas. Na ânsia da mudança, no apego ao novo pelo novo, exageros também podem aflorar e se instalar no terreno pedagógico. Quando se usa sistematicamente o conceito de energia, à semelhança ou mais ainda do que os conceitos anteriores (T&R), corremos riscos. Já falamos das definições e dos cientificismos que afugentam os alunos. Na outra ponta, a extrapolação exagerada, esotérica das múltiplas interpretações atribuídas ao conceito. Um modismo que também não contribui para nossa tarefa.

Refiro-me ao sentido tautológico, também aos perigos de se atribuir à energia tudo o que ocorre, emprestando-lhe o significado de causalidade universal, um 'substituto de Deus', na expressão de Feymann. Isto é perigoso, antieducativo e precisa ser evitado. Dizer que 'a pedra cai e o cachorro anda *por causa* da energia' nada acrescenta além de mistificação.

Procuramos e praticamos em grupo um como fazer educativo, sem preocupação metodológica isolada. Projetos de 'Ciência Integrada' que barateiam o conhecimento, essencialmente metodológicos e esvaziados em conteúdo vêm sendo implementados. Estão sempre a dourar a pílula, tentando facilitar a aprendizagem com 'joguinhos, testinhos, experienciuzinhas e brincadeirinhas'. Os livros didáticos de primeiro grau carregam esse traço marcadamente. Na outra ponta, textos/projetos muito conteudistas não transformam os velhos conteúdos. Esmeram-se no ensino dos conteúdos sistematizados, enriquecidos por 'testões, problemões, receitas para experiências que dão certo' e elegem os iniciados, voltando as costas para as grandes maiorias.

É sintomático que publicações não eminentemente conteudistas, como o projeto Harvard para ensino de Física (não traduzido em português no Brasil, sim em Portugal) e o texto de Holton (1976) bem como outras iniciativas e projetos não tenham sido divulgados nem traduzidos para serem alternativas ao nosso trabalho didático, enquanto boas fontes para consultas.

Em grupo, estamos no momento tratando de não dissociar os dois aspectos (conteúdos/metodologias) das múltiplas dimensões da vida escolar. Aqui, mais atenção é dada aos conceitos (não serem confundidos com os 'conteúdos'), opção que a nosso ver aponta para associação entre uns e outros.

Conceitos supradisciplinares constituem pistas que propomos teoricamente para mudanças conceituais. Porém mudanças que têm endereço, aquele das totalidades, das unidades estruturadas de saber.

Muito mais sobre energia, correta ou incorretamente, é visto hoje pelos alunos fora da escola. Na escola, é trabalhado de uma só forma, inadequada e árida. Muitas vezes o assunto não é trabalhado na escola, mesmo no segundo grau; falta tempo porque, na justificativa dos

professores, 'os alunos não sabem vetores, cinemática, álgebra, trigonometria ...(?)'. Claro que eles não têm culpa, professores também estão presos à sua formação, aos textos, ao vestibular.

Resgatar o que a Ciência fez, faz e provavelmente fará é o que pretendemos igualmente através desse conceito. Conceito que acopla muito bem o qualitativo e o quantitativo, de alto interesse para estudos dinâmicos, evolutivos, e, ao mesmo tempo, pode apontar para direções que elegem tecnologias 'moles', que cuidam com maior zelo das reservas energéticas. Conceito que sinaliza para o mais sofisticado princípio da Termodinâmica, o do crescimento da entropia, princípio atualmente considerado como grande inspirador para os avanços da pesquisa em C&T. Sem receitas precisas: primeiro, o vocábulo já vulgarizado; aos poucos, a abstração e a busca de totalizações.

A contradição dialética entre 'coisa e conceito' já apontada no capítulo 4 (ver item 4.2) está presente aqui também, em forma ainda mais sutil. Energia é um construto não estruturável, não modelável, muito menos 'coisificável'. Não está preso às coisas (matéria) somente, mas também a manifestações que enquadrámos no campo das 'formas', como luz, calor, movimento, posições dos corpos...

Difícil e desafiante. No mundo atual e do porvir, haverá cada vez mais espaço para a compreensão da grandeza e sua utilização nas estruturas mentais. Felizmente, nas pesquisas sobre 'concepções alternativas' sobre energia, não se detectam distorções qualitativas entre o conhecimento aceito e o dos alunos 7. Ponto para refletirmos quando nos submetemos às supostas dificuldades. Não será a dificuldade suposta o escudo para o medo de enfrentar o novo, a mudança que os alunos, mesmo implicitamente, desejam?

Com uma abordagem inédita, sem contrapartida a abordagens anteriores, C&T vêm trabalhando o conceito e a conservação de energia. Antes era considerada contínua, hoje reconhecidamente quantizada no universo microscópico, como são quantizadas massa e carga elétrica. O princípio de conservação, um dos pilares da Física Clássica, não desmontou, pelo menos até hoje. Em contrapartida, teorias inteiras, verdades outrora absolutizadas, que ainda estão na 'ciência dos currículos', desabaram e são hoje aceitas apenas como aproximativas. Este é um reforço de domínio interno, epistêmico, aos argumentos desta proposta. No sentido cultural, sem modismo, trata-se de um imperativo; resgatar ou introduzir na escola um conceito tão falado e articulado fora dela.

Uma pergunta persiste ao falarmos dos conceitos. E o tratamento matemático/quantitativo, uma vez que os acompanha? É possível o estudo revelador e desvelador do conceito sem os operadores lógico-matemáticos? Já dissemos que não, a ênfase conceitual é afeta aos domínios de CN; a outra, da matemática. Um aprofundamento deste aspecto será tratado juntamente com a discussão detalhada do quarto conceito unificador e supradisciplinar, o de ESCALAS.

6.2- ESCALAS

Com uma abordagem distinta das anteriores, C&T modernas vêm trabalhando com ESCALAS. Este conceito unificador fecha conjunto de prioridades que no momento estabeleço. Serão necessários outros Conceitos Unificadores para enlaçar, com maior riqueza, o conjunto de saberes em CN? Talvez sim, por exemplo o de 'equilíbrio instável ou equilíbrio dinâmico dos regimes estacionários', ou seu correspondente mais rico da Biologia, o conceito de 'auto-regulação'. Estudos futuros deverão indicar, com maior precisão, esta necessidade ou não. Esses 'equilíbrios não estáticos', que permanecem dinamicamente em regime de trocas recíprocas com o ambiente próximo, são fundamentais para que os escolarizados e a população passem a perceber seu mundo com maior perspicácia, com maior atenção para as mudanças-permanências das interações. Podem, contudo, ser priorizados enquanto tópicos de ensino-aprendizagem e tratados com destaque através dos quatro conceitos unificadores. Se incluirmos a degradação da energia (segundo princípio da Termodinâmica - o da entropia), sua confirmação para sistemas amplos compatível com sua negação para sistemas vivos distantes do equilíbrio termodinâmico, pelo menos localmente, estaremos aptos a abordagens nesta perspectiva de prioridades (Prigogine, 1986; consultar cap. 2, seção 2.4 desta tese).

É possível a qualquer cidadão escolarizado estruturar dinamicamente um conhecimento cultural em CN - aberto porque conhecimento mutável, suscetível a novas entradas que enriquecem a estrutura. Isso, mesmo que o novo conhecimento tenha características de ruptura com o anterior, pois falamos com professores, com sujeitos que operam domínios do pensamento formal.

Assim como os dois primeiros conceitos discutidos, o de escalas é muito mais velho do que C&T modernas. Técnicas milenares o utilizam, pelo menos em seu sentido métrico. A lógica clássica bem como as matemáticas antigas o conceberam, utilizaram e socializaram, também no sentido qualitativo.

Na perspectiva de trazer para discussão elementos que construam uma interface entre o epistemológico e o pedagógico, que, simultaneamente, constitua uma ponte entre esses dois campos, indico também esse conceito unificador, para se resgatar, na escola, o que a Ciência fez, faz e provavelmente fará.

Junto às escalas, acoplamos a obrigatoriedade do quantitativo no ensino de CN. Presente já na discussão sobre regularidades, também implicitamente nos demais conceitos, no seu aspecto formal (formalismo implica relações quali e quantitativas, uso de conceitos relacionados por

operadores), aqui as quantidades são destacadas principalmente no seu entendimento primeiro, o numérico, essencialmente comparativo.

Mesmo em lógica formal, clássica, além das quantidades brutas (de comparação), das extensivas (mais profundas, do tipo: todos os triângulos são triângulos), passa-se necessariamente pelas quantidades como tais, métricas, submetidas a padrões, relacionadas diretamente à idéia original de 'regula'. Qualquer grandeza só pode ser concebida como tal se comparada a um padrão externo. Sem tratamento desembaraçado com grandezas, não pode haver ensino de CN.

Ainda que a dimensão externa das medidas (submissão a padrões), tenha contribuído historicamente para o Homem fragmentar, isolando partes de totalidades de maneira exagerada e inadequada como 'res cogita e res corporea', o trabalho com quantidades é ferramenta essencial para aprendizagem em CN. O qualitativo, o extensivo, outros determinantes da lógica dialética e de lógicas não ortodoxas são aspectos também importantes, assim como o conceito mais interno de medida, que Bohm defende (consultar cap. 2, item 2.3, seção 2.3.1).

A ferramenta é indispensável e pode ser usada a favor do conhecimento, embora na 'ciência dos currículos, dos professores' nem sempre isso ocorra. Não se trata de aborrecer alunos com 'cálculos e continhas intermináveis', mas de lutar com eles para adquirirem a capacidade de estimar, dimensionar com relativa precisão. Essa capacidade é típica dos homens de CN, em particular dos físicos, mas não é socializada, não passa pelos crivos do conhecimento escolar em CN.

Na sociedade brasileira, mesmo dentre os cidadãos escolarizados, um traço que parece cada vez mais forte é o "acho que, sei lá!, mais ou menos- um 'chute' quase sempre para muito mais ou muito menos...". Além da imprecisão, do desconhecimento seguido de opinião ou palpite, vimos detectando cada vez mais o "não sei nem quero saber...não é do meu ramo ...".

Tal comportamento está presente também no ambiente universitário, manifesto enquanto confinamento não só de saber mas também espaço-temporal. A alienação relacionada ao conhecimento em C&T é sempre lembrada, mas essa associação bem como a falta de conhecimento básico de C&T da maioria, mesmo a escolarizada, passam pela educação que se pretenda para a cidadania, pela democratização do saber em CN. Paralelamente (ou ortogonalmente?), 'holismo dos mais variados, consciência ambiental muitas vezes ingênua e frágil, novas religiões, culto ao corpo e recentes adesões ao minimalismo e pós-modernidade' se instalam, com grande simpatia dos frequentadores das universidades, sem debate crítico. Pura e simplesmente, cópias culturais de países avançados. Terá razão Sérgio Porto-Stanislau Ponte Preta com o seu 'samba do crioulo doido'?

Há razões históricas que em parte justificam essa convivência alienada e difusa dos homens com o seu mundo e com outros homens. Fernando de Azevedo, já discutido no capítulo 1, escreveu sobre a 'índole de nossa gente'. Paulo Freire alerta para a incapacidade da maioria dos nossos homens em 'fazer história'(1976, cap.3). Persiste um grande folclore sobre nossos limites,

uma certa impregnação de conformismo em nossa cultura, muitas vezes apontada de forma a reforçá-la, pois carregada de preconceito.

Parte dessa dívida está também na falta de espaço que as quantidades em particular e a matemática em geral sempre tiveram em nossa educação escolar, da colônia ao império e às repúblicas, velhas e novas. Calculadoras não resolvem, computadores também não! Pós-modernidade e culto aos fragmentos será a saída mágica? Onde está a nossa modernidade, que homens como Habermas ainda acreditam, enquanto potencialmente capaz de transitar de uma racionalidade técnica para uma emancipatória?

Trabalhar sistematicamente com escalas pode contribuir para algum discernimento, para os homens se localizarem e daí se lançarem a outros mundos e realidades distantes. Com o tempo, a educação escolar poderá recolher resultados, alterando sim na prática cultural a nossa 'índole', nossa pouca intimidade com a matemática, números e grande intimidade com o discurso, a 'falação' e a importação de modismos.

Não compartilhamos com os adeptos restritos da matemática utilitária, aquela dos 'trocos de ônibus, feiras e liquidações'. Se sabemos avaliar o quanto algo é grande, pequeno, muito, pouco, quente, frio, pesado, leve, saberemos muito bem nos posicionar sobre as quantidades, os juroz altos e outras explorações do 'cotidiano'.

O homem é o padrão, a *medida* de todas as coisas. O ato de se utilizar escalas partindo-se das dimensões próximas às humanas, ergométricas, é condição humana. Primeiro a luneta, depois o telescópio lançado no espaço. Conseqüentemente, partir, no ensino, das coisas a nosso redor é seguramente o caminho. Estacionar nestas dimensões ergométricas, nestas necessidades primeiras, é obstruir conhecimento aos educandos, é reforçar o local, transitório, quase fugaz. São indispensáveis as extrapolações, vias para saltos e vôos além do 'cotidiano'. Escalas ajudam muito.

As escalas métricas são vias de acesso para dimensões mais profundas, das lógicas, das abstrações, do qualitativo. Não há saltos, nem mágicas, que consumam degraus na formação das estruturas mentais. Aqui também, a base empírica de Piaget não vem sendo contestada; pode-se desconfiar da idade dos estádios, da pouca ênfase que o autor deu à educação escolar, também do ambiente sócio-cultural que ele privilegiou inicialmente para retirar seus dados e generalizá-los. Entretanto, saltos de níveis de cognição parecem não atingíveis, pelo menos saltos que permanecem com relativa constância⁸.

Escalas auxiliam internamente o conhecimento crítico em CN, pois estabelecem os limites de validade das teorias. As teorias são mal interpretadas na educação escolar, admitidas como sempre verdadeiras e aplicáveis em qualquer dimensão. Os professores de CN, sobretudo os formados em escolas isoladas, de licenciaturas curtas particulares, recebem esse conhecimento, de teorias prontas. Este é um reforço epistêmico de nossa proposta: escalas enquadram por um lado, estabelecem limites muito precisos na sua dimensão métrica; por outro, rompem com limites de

validade de teorias, desenquadram, extrapolam verdades estabelecidas (consultar o exemplo, item 6.3, a seguir).

Com relação a esse conceito, a educação não formal tem contribuído de alguma forma nos espaços do Brasil moderno. Publicações, desenhos animados, até programas 'científicos' de rádio e TV, filmes que apelam para as 'hiper-realidades', estão aí.

Crianças, adolescentes e adultos mergulhados em um mundo de informações quantitativas. Temos grande presença nos meios de comunicação de gráficos, índices, variações de dados principalmente econômicos. Há um acordo tácito, ou cínico, em toda essa enxurrada de informações. Fazemos de conta que todos entendem, que todos os cidadãos acompanham as oscilações diárias de índices que afetam suas vidas. Mas alguns acabam compreendendo. Aprendem a ler as variações e tendências das curvas, muito presentes por ora nas pesquisas eleitorais e diárias, com os índices inflacionários.

Assuntos de importância vital como esses não são debatidos quantitativamente nos espaços escolares. Os programas empoeirados se impõem, não cumpridos em sua íntegra. Quantidades são difíceis, em geral só servem para resolver problemas de matemática e CN.

Crianças acionam e percebem um mundo diferenciado de objetos em escalas das mais diversas. Sabem, pelo menos desconfiam, que seu carrinho de plástico não é verdadeiro como os grandes, que seu sapato não cabe no pé dos pais, que os deles sobram nos seus pés.

Considerando-se tanto o egocentrismo como o sincretismo infantil (Hannoun, 1977; Angotti, 1990), podemos evocar as quantidades brutas de comparação. No descentramento para o antropocentrismo, há que se trabalhar, ainda na primeira escolaridade, com métricas.

As estruturas, reequilibrações devem ser atingidas ao longo do evoluir escolar. Entretanto, não contribuiremos para os ganhos culturais de C&T ao deixarmos para o terceiro grau todas as possibilidades de estruturação do conhecimento. Níveis de consciência ecológica e mais ainda, cósmica ou cosmológica, não serão desta forma atingidos pelas grandes majorias (consultar os dados do parágrafo inicial do item 1.4, cap. 1).

Muito se pode fazer com utilização de escalas na segunda etapa do primeiro grau e em todo o segundo. Este nível de escolaridade ainda é pobremente elitizado no país. Nos chamados países avançados, não se costuma esperar a escolaridade de graduação para se sistematizar quantidades. Lá também, não há multidões que acessam às universidades. O conhecimento fundamental é atingido na educação obrigatória e fundamental.

Como professor de Prática de Ensino de universidade pública de estado dos mais 'avançados' do país, testemunho que, em sala de aula, não só de Física, nada vem ocorrendo para reforçar compreensões quantitativas; prevalecem ainda as 'insuportáveis formuletas, as continhas e regras de três'. Zanetic (1990) aponta para o caráter inócuo desse tipo de ensino. Parece que consegue ir além, contribuindo para afugentar e reforçar junto aos estudantes um repúdio ao conhecimento de nossa área.

Minha concepção sobre o quarto conceito unificador enquadra-o temporal e epistemologicamente no empreendimento moderno de C&T, à semelhança do terceiro, energia. Originalmente, não percebia, nem durante o curso de graduação, as potencialidades das escalas.

Preocupado há tempos em localizar contribuições em direção a totalidades, procurei leituras distantes dos textos didáticos, especialmente originais e textos de divulgação. Nos 'Great Books' da Britannica, localizei textos de Poincaré, Russel, Eddington que até hoje consulto, para fins didáticos. Em particular, Boeck (1971) tem lá publicada uma obra-prima de caráter didático, voltada para a 'visão cósmica' dos homens. Passei a usar sistematicamente esse material em várias intervenções, a partir de meu trabalho de formação de professores na Guiné-Bissau, em 1980/81 (Angotti, 1982, cap.2). Mais tarde, tivemos contribuições semelhantes, como a de Morrison (1984), não só textos como filmes e até animações brilhantes ('Powers of Ten', filme americano baseado na obra de Morrison e desenho de origem canadense). Hoje, em português, já podemos citar algumas divulgações de material baseado nas 'potências de dez'. De números da 'Revista Geográfica', 'Ciência Hoje' e mesmo 'Superinteressante'. Sempre que trabalho este material com professores, constato que ficam perplexos, desconhecem a riqueza do material que é acessível, desconhecem as publicações dos periódicos citados.

Detectei nos últimos anos que tais obras enfatizam somente escalas espaciais, das dimensões nucleares às cósmicas. Antes de vir a conhecer a contribuição de Sagan(1981), que faz abordagem semelhante para o tempo, eu já procurava estender as 'varreduras em escala' para outras grandezas, incluindo o *tempo*, com muito destaque, convencido da percepção 'fotográfica-estática' do mundo pela maioria das pessoas, alunos incluídos.

Como desde a graduação percebera energia enquanto conceito unificador ⁹, acabei desdobrando-a nas duas categorias mais amplas e menos abstratas de 'transformações e regularidades' para fins instrucionais e, também para não exagerar e mistificar energia, correlacionando-a demasiadamente com a causalidade.

Paralelamente, descolei dos três as 'escalas', que me permitem tratar qualquer grandeza relevante a um curso, ou tema, de forma estruturada e, pelo menos, métrica. O exemplo da próxima seção deverá elucidar a compreensão que estou dando às escalas, não somente aquelas relativas a tamanhos, maquetes, mapas ¹⁰.

Em nossa concepção atual, para fins instrucionais, transformações e regularidades são de certa forma renovadas e reveladas com maior abstração pelos conceitos de energia e de escalas. Reconhecidamente, há distinção cognitiva entre eles; os primeiros mais fortes para utilização no início da escolaridade, até o segundo grau; os dois outros mais fortes no segundo grau e sobretudo no terceiro.

Não posso descartar nenhum dos quatro conceitos, ao pensar no ensino de CN globalmente, em vários níveis de escolaridade e, também, em educação não formal. Igualmente, ao propor alternativas para a 'ciência dos currículos e dos professores'.

Nas ações educativas ocorre invariavelmente cronologia cognitiva e conceitual. Transformações e regularidades podem firmar presença a partir da alfabetização na língua materna e das operações aritméticas. Os conceitos constituem quadro de referência para a alfabetização em CN, necessária nos primeiros anos de escolaridade. Energia e escalas ganham destaque cada vez mais progressivo, constituindo mais em um quadro de referência para alfabetização em C&T, que adquire algum contorno durante a adolescência, em geral ao final do primeiro grau. São nas duas ordens que se instalam os conceitos, dois a dois; ordens de compreensão, de ganhos de saber em evolução.

As relações formais, fortes abstrações e unificações menos evidentes, localizadas em ordens mais ocultas, são imprescindíveis nos cursos de CN do ciclo básico universitário, trabalhando-se os quatro conceitos simultaneamente. Claro que neste nível as transformações devem ser as 'de fase', as regularidades serão princípios de conservação associados a simetrias no espaço e no tempo.

As dimensões complexas do conhecimento, as dificuldades com as grandezas primitivas como a massa, espaço e tempo, as grandes sínteses teóricas, efetivamente só podem ser atingidas nas disciplinas finais de cursos de graduação, ou mesmo pós-graduação. Em particular, princípios de conservação da Física e sua relação com isotropia do espaço e homogeneidade do tempo (Goldstein, 1966) são assuntos complexos mas que devem ser democratizados em cursos de graduação, não somente para Físicos.

Com relação aos eventos que são notícia, como acidentes, desastres, grandes decisões políticas que envolvem recursos naturais e tecnologia, não podemos mais deixá-los tão distantes de nossas aulas de CN. Aqui, a abordagem temática e a utilização dos conceitos unificadores poderão permitir clima para estas discussões e subsidiar dados e leituras para maior participação crítica. Usualmente, não apenas os alunos ficam à margem desses eventos; ficamos nós também, educadores de CN, sempre presos aos nossos paradigmas de ensino.

Aqui, vale um comentário sobre a relação das disciplinas de nossa área com as das Ciências Humanas e Sociais. Em geral, os programas destas são mais elásticos, podendo absorver, como devem, discussões sobre eventos atuais de interesse geral. Sendo nossos cursos fechados e pretensamente 'puros e atemporais', estaremos efetivamente contribuindo para alguma integração do conhecimento, tão desejável?

Essa inquietação a respeito da dureza dos cursos de CN, em particular os de Física, vem sendo debatida intensamente em outros países também (consultar cap.7, item 7.3). Com esta postura, tudo indica que estamos perdendo o trem da história, ou mesmo sendo atropelados por ele. Sendo conhecimento vivo, o nosso haverá de contribuir para a formação dos alunos durante sua escolaridade. Esperar uma formação em CN é isolar culturalmente nosso conhecimento cada vez mais; é reconhecer, na prática, que ele só é mesmo acessível em plenitude a poucos, os iniciados.

Ainda, essa assimetria no tratamento escolar das questões sociais afeta a C&T, sobretudo as desconfortáveis, mesmo as trágicas, pode contribuir ainda mais para certa tendência fatalista das populações, para o conformismo ou rebeldia para com a área e suas aplicações.

Os professores de outras áreas não podem, sozinhos, discutir esses aspectos, porque lhes falta até o conhecimento mais articulado para tal iniciativa. A nosso ver, estas ações de uns, acompanhadas por omissões de outros, avançam em sentido contrário às pretensões, que não são só nossas, de inserção cultural do conhecimento em C&T.

Temos, entre nós, 'neodionisíacos' de outras áreas que até publicam sobre C&T, epistemologia e muitos outros campos complexos. Não podemos nos omitir dessas discussões, simultaneamente não podemos deixar de colocar, de forma organizada nas escolas, o nosso conhecimento à disposição das pessoas.

Finalmente, na perspectiva do devir em CN, buscando sintonia com o que ela provavelmente fará, detectamos a necessidade de discutir problemas atuais da área. Alguns deles, que já ganham espaço na imprensa, são: 'seta do tempo e irreversibilidade', novas partículas fundamentais como 'quarks e leptons', os já comentados 'fractais', só para ficarmos no escopo da Física. Em Biologia, assuntos novos como a engenharia genética esbarram nas necessidades de se discutir, mesmo rediscutir, a ética. O que fazer? Como inserir esses assuntos em nossa pobre escola brasileira?

Instrucionalmente, o professor de CN habituado a trabalhar na perspectiva temática e de conceitos supradisciplinares estará sempre mais próximo para discutir com os alunos os aspectos contemporâneos do conhecimento na área, bem como seus desdobramentos. Professores medíocres, na dependência de textos igualmente medíocres, só podem correr destas discussões. Já se fala dos professores que correm dos alunos que lêem 'Superinteressante'! Esses talvez mereçam correr.

Aqueles que enfrentam, poderão organizar seminários, acompanhar leituras, relacionar novos conhecimentos com os supradisciplinares a que vêm dando destaque. Não é mesmo fácil, é possível.

É vergonhoso para nós, da Física, não termos conseguido ainda introduzir e democratizar os elementos das teorias da chamada Física Moderna no segundo grau, até hoje, véspera do século XXI. Zanetic(1990) comenta bem essa lacuna e costuma afirmar: 'Física do século XX, antes que ele acabe'. Enquanto isso, lá fora, os jogos de última geração, as revistas que fazem correr muitos professores, os filmes da 'hiper-realidade'. Mesmo a tão prestigiada Física Clássica, pelo menos em alguns tópicos, são apresentadas aos alunos de forma totalmente descontextualizada, apartada da cultura ¹¹.

De qualquer forma, a noção mais extensa e profunda de escala nos permite refletir sobre estes ganchos de conhecimentos um tanto distantes. Nos ajuda a tentar anexar aspectos novos do conhecimento e a agrupá-los; podem mesmo nos ajudar a 'sair da toca', de nossas trincheiras de

saber. Precisamos ampliar nossa possibilidade de intervenção. Precisamos até conceituar escala com auxílio das dimensões críticas do pensamento epistêmico.

Ao longo da discussão sobre os quatro conceitos, não resisti, intencionalmente, às contraposições com o ensino atual e passado de CN. Afirmando que não se trata de fugir ao assunto do capítulo. Uma tese sobre o ensino de CN conterá obrigatoriamente essas críticas. Optei por considerá-las ao longo de quase todo o trabalho. Quando critico o atual estado de coisas, refiro-me tanto à escola pública deteriorada quanto às escolas privadas de primeiro e segundo graus. Ao contrário do que sugerem, ao contrário do que muitos pais e alunos pensam, a qualidade do ensino de CN destes estabelecimentos é também sofrível. Apenas que nestes espaços os fatores sócio-econômicos, aliados à mediocridade do vestibular da maioria das universidades, confirmam um 'sucesso' irreal.

6.3- EXEMPLO DE APLICAÇÃO DIDÁTICA: ESCALAS E APLICAÇÃO CONJUNTA DOS OUTROS TRÊS CONCEITOS

6.3.1- O PALCO

Nossos modelos são construções, mapeamentos daquilo que constitui o território. Assim como o mapa não é o território, os modelos e teorias de CN não são a natureza.

Todas nossas impressões e ações sobre o mundo ocorrem no espaço e no tempo, grandezas primitivas constituem o palco das interações que vivemos, observamos, sentimos, concebemos, elaboramos e também modificamos.

No ensino de CN, freqüentemente a noção espacial se sobrepõe à temporal, consequência de uma primazia do nosso sentido de visão sobre os demais. Principalmente no primeiro grau, reforça-se bastante na escola aquilo que pode ser visto, isso é normal. Entretanto, essa prioridade não pode ser mantida ao longo dos anos de escolaridade, para não reforçar a análise estática do mundo. O tempo nos ajuda a conceber o mundo dinamicamente, destaca as mudanças bem como as permanências, entre o antes e o depois, dos eventos.

O tratamento mais equilibrado das duas grandezas que formam nosso palco pode facilitar mais tarde compreensões mais recentes desse palco, que não mais separam o tempo do espaço mas os conectam em espaço-tempo. Esta nova compreensão rompe drasticamente com o nosso senso comum; é desejável que os alunos tenham oportunidade, ao final do segundo grau, de serem introduzidos a essas noções da Física do século XX.

Não há como definir as grandezas primitivas, nem há interesse no exemplo em aprofundar discussões epistêmicas sobre esse palco. Importa-nos trabalhá-lhas com professores de CN, para desvelar o pano de fundo das interações da matéria e da energia.

Os quadros 1 e 2 enquadram o palco, incluindo também destaques de corpos e sistemas que mais ocorrem nas dimensões, que mais atuam. No chamado Destaque, temos a regularidade, um exemplar dos atores que ocupam o palco. Sugere-se ler os quadros varrendo-os e discutindo-os tanto em linha como em coluna.

QUADRO I

ESCALA DE COMPRIMENTO (ESPAÇO, UMA DIMENSÃO) UNIDADE - METRO	DESTAQUE, "O QUE CABE" (REGULARIDADE)
10^{-15} (1,0 Fermi)	Quarks dentro de prótons nêutrons. NÚCLEO.
10^{-14}	Núcleos atômicos.
10^{-12}	Comprimento de onda de raios "gama", fótons nucleares
10^{-10} (1,0 Angstrom)	Comprimento de onda de raios X nucleares, dimensões atômicas.
10^{-8}	Menores vírus, moléculas.
10^{-7} e 10^{-6}	Comprimento de onda da luz (todas as cores); bactérias.
10^{-4}	Cristais, células.
10^{-2} (1,0 cm)	Pequenos objetos, insetos.
10^{-1}	Dedos, lápis, talheres, livros
10^0 (1,0 metro)	Homem, plantas, cadeira, mesa, cachorro, eletrodomésticos.
10^1 e 10^2	Casa, árvores, baleia, ônibus avião, trem, navio, quadra.
10^3 (1,0 km)	Montanha, avenida, lago.
10^4 e 10^5	Bairro, pequena cidade, rio plantação, distância regional.

10^4	Estados, distância SP-POA.
10^7	Costa brasileira, grandes rios europa, diâmetro da Terra.
10^8	Vizinhanças da Terra, distância Terra-Lua.
10^{10}	Distâncias interplanetárias.
10^{12}	Sistema solar.
10^{14} (apr/ 1 ano luz)	Um quarto da distância entre a Terra e estrela Alfa/Centauro.
10^{18}	Estrelas "próximas" (sirius)
10^{20}	Nossa galáxia (via láctea)
10^{22}	Galáxias vizinhas (Magalhães)
10^{24}	Aglomerados galácticos.
10^{26}	Limite atual (quasares) Universo, finito ou infinito ?

QUADRO 2

ESCALAS DE TEMPO
(UNIDADE: SEGUNDO)

EVENTO EM DESTAQUE
(DURAÇÃO)

10^{-23}	Partícula elementar rápida ao atravessar um núcleo.
10^{-21}	Período de oscilação de raios "gama", alta energia.
10^{-17}	Meson "PI" neutro, vida média.
10^{-15}	Luz violeta, período de oscil/

cont. pag. 151

10^{-12}	Período de rotações moleculares; elétrons em transição.
10^{-10}	Período de osc/, microondas.
10^{-8}	Ondas de rádio FM, per/osc/.
10^{-6}	Ondas de rádio AM, per/osc/.
10^{-3} (1,0 ms)	Notas musicais, per/oscilação.
10^{-1}	Menor tempo distinguível pelo ouvido, precisão de relógios.
10^0 (1,0 s)	Intervalo de batidas/ coração.
10^1	Corrida de 100m livres, atletas campeões.
10^3	Duração de almoço e descanso, viagens curtas, filme.
	Rotação da Terra/próprio eixo
10^5 (apr/1 dia)	Vida média de alguns insetos. Trabalho, alim/,lazer e sono
10^7 (apr/1 ano)	Translação da Terra/Sol, relógios biológicos, ciclos de plantações/colheitas.
10^7	Vida humana e de poucos outros animais.e vegetais.
10^{11}	Civilização humana.
10^{15} (10^6 anos)	Ancestrais humanos, mamíferos.
10^{18}	Répteis, dinossauros/extinção, idade de montanhas.
10^{17} (10^{10} anos)	Idade da Terra.
2.10^{17}	Idade do universo.

6.3.2- OS ATORES

No palco contínuo e dinâmico constituído pelo espaço e pelo tempo, dançam e encenam, através de interações, atores que, a nível de grandezas, são as 'coisas' com massa e/ou energia (1). Partículas se combinam formando cerca de 100 elementos e estes formam moléculas e aglomerados dos mais diversos, inclusive aqueles que caracterizam os seres vivos. Nas interações, dos núcleos às galáxias, ordens parecem acompanhar um grande caos aparente. Os modelos da Física, Química e Biologia, ao lado de outras CN, procuram identificar tais ordens, tais regularidades.

Formas, tamanhos, cor, dureza, densidade, estado, grupos, espécies, são características que definem e demarcam os campos das CN.

Uma grandeza que sempre acompanha a matéria e que se originou de nossas sensações e observações macroscópicas é a sua temperatura. Grandeza também primitiva, que macroscopicamente mede o estado energético médio das partículas em agitação que compõem um material.

Apresentar a massa acompanhada de temperatura é uma forma de comprometer a matéria com seu estado energético, de não separá-la demais, de não deixá-la única, absoluta. Simultaneamente, não deixá-la 'fria e morta'.

As transformações ocorrem na natureza, as CN procuram explicá-las, identificando estados da matéria, antes, durante e depois das transformações. Os estados são localizados pela temperatura, no mundo macroscópico, ou pela energia, em qualquer dimensão. Sugere-se o trabalho conjunto das grandezas massa, temperatura e energia, sob a óptica das potências de dez, para discussões gerais e também pontuais.

Apresentamos as escalas de massa e posteriormente temperatura, caracterizando eventos que podem ser didaticamente explorados. Nas primeiras, as regularidades mais evidentes que se pode constatar, obtidas dos diferentes campos das CN (leitura dos quadros em linha, na horizontal). Nas segundas, um raciocínio semelhante indica as transformações, ou pelo menos possibilidade de

1-Massa e energia são grandezas distintas quando tratadas pelas teorias da Física Clássica. Porém, do ponto de vista relativístico, são equivalentes, no sentido de ser massa (inércia) a energia de um corpo em repouso. Classicamente, massa é invariante nas transformações, o que não ocorre em relatividade, onde somente energia se conserva.

ocorrência, quando a matéria salta as escalas de temperatura (leitura dos quadros em coluna, na vertical).

QUADRO 3

ESCALAS DE MASSA. (unidade: kg)	"COISAS" Destaque/Presença	REGULARIDADE

10^{-30}	elêtron	Part/ elementares, movimento incessante a nível atômico, carga elétrica.
10^{-27}	próton/ nêutron	Partículas, que formam o núcleo atômico, formadas por "quarks".
10^{-24}	molécula/ oxigênio	Participação nas combustões, água, seres vivos.
10^{-22}	molécula/ proteína	Presente em todos seres vivos. Muitos átomos.
10^{-13}	hemácia	Mais de 500 átomos, org/ espacial, Ferro(cor)
10^{-6}	traços de lápiz.	
10^{-2}	envelope	
10^{-1}	lápiz, bife fruta.	Tecnologia para artigos pequenos, porções.
10^0	litro/água leite/óleo	Alimentos embalados, agro indústria. Consumo
10^1	arbustos, eletrodom/s animais	Espécies várias, antrope/ centrismo/morfismo. Grande diversidade de objetos, naturais, fabricados, de uso pessoal.
10^2	homem, vegg/. animais	
10^3	automóvel, elefante	Lentidão animal, velocid/ máquinas, combustível.
10^4	caminhão	Transporte coletivo e de carga, máquinas.
10^5	trem, jato	Serviços, transporte.
10^6	petroleiro	Abastecimento em escala.

cont. p. 154

cont.

QUADRO 3

ESCALAS DE MASSA. (unidade: kg)	"COISAS"	REGULARIDADE Destaque/Presença
10^{12}	grande montanha	Estabilidade, minérios altitudes.
10^{22}	lua	órbita, fases, marés.
10^{24}	terra	órbita, "casa", nave, atmosfera, vida.
10^{30}	sol	Vida, luz, calor, fotossíntese, proteção, órbita.
10^{40}	galáxia	Arrastamento, atração, estrelas, alta energia.
----	quasar	Remoto, "desconhecido", expansão.
----	universo	Finito? Infinito? Todo? Expansão, morte térmica?

QUADRO 4

TEMPERATURA (unidade: Kelvin)	"COISAS"	REGULARIDADE/HORIZONTAL TRANSFORMAÇÃO/VERTICAL
> zero	cristal	Inércia total(?)
10^0	Hélio liq/	Superfluidez
10^2	Nitrogênio líquido	Supercondutividade
$3 \cdot 10^2$	moléculas, células, seres vivos	Pluralidade de corpos e substâncias, estabilidade temp/ ambiente.
10^3	Combustão fusão met/	Quebras moleculares Novas formações atômicas.
10^4	átomos	Ligações atômicas
10^7	plasma	Quebras atômicas. Movimen- desordenado. Partículas
10^9	núcleo	Prótons/nêutrons confina- dos. Altíssima velocidade, altas energias.
10^{10}	combustão nuclear	Fusão nuclear (Hidrogênio- Hélio), centro de estrela

QUADRO 5

FREQUÊNCIA (unidade: Hz)	COMPRIMENTO DE ONDA (unidade: m)	FAIXA/REGULARIDADE (aproximada)
10^4 a 10^7	10^4 a 10^1	Ondas de rádio AM.
10^8	10^0	Ondas de rádio FM.
10^9	10^{-1}	Ondas de TV (VHS)
10^{11}	10^{-3}	Microondas (DDD) rádio-amador.

10^{12} a 10^{14}	10^{-4} a 10^{-6}	Infravermelho.
10^{15}	10^{-7}	Luz, faixa visível, cores, refl/difusa.
10^{14} a 10^{17}	10^{-8} a 10^{-9}	Ultravioleta
10^{18} a 10^{19}	10^{-10} a 10^{-11}	Raios X (fótons)
10^{20} a 10^{22}	10^{-12} a 10^{-14}	Raios 'gama' (fótons) alta energia.

6.3.3- O ATOR COMPLETO

As escalas enquadram eventos, aspectos em estudo da natureza, seja pura, seja transformada. Localizadas as dimensões, durações, quantidade de matéria e/ou temperatura das coisas, aprofunda-se o conhecimento. Porém, fica impossível apreender um conhecimento mais global das interações, ao se priorizar somente as 'coisas materiais'. Ondas, ou energia pura em transporte, completam bases teóricas para o tratamento dos eventos, mediante modelos que complementam aqueles da matéria. Há assuntos demais condensados pelos quadros; por exemplo uma série de regularidades é apresentada quando dos períodos de oscilação no quadro das escalas de tempo.

Quanto às restrições de domínios de validade das teorias clássicas da mecânica e do eletromagnetismo, estão presentes pistas nas escalas, que apontam para elementos de teorias contemporâneas. Por exemplo, ao escrevermos Raios X e 'gama' enquanto 'fótons', ao sugerirmos os acoplamentos espaço-tempo e massa-energia. Em cada situação, professores e educandos terão opções para busca de materiais que subsidiam um conhecimento novo, não localizado facilmente nos livros didáticos com que estão familiarizados, às vezes viciados, em adotar como única fonte de saber.

Ainda com as escalas métricas, encerramos nosso exemplo com o ator mais completo que está presente desde a origem do universo, em sucessivas transformações, sejam brandas, sejam bruscas, sempre com o regular comportamento de conservação total de sua disponibilidade no universo. Energia é esse ator. Um de seus personagens (o Calor) insiste em aumentar o seu quinhão do total ao longo das cenas da dança universal; outras não, são completamente reversíveis.

Sugerimos um trabalho com escalas de energia, as traduções entre suas unidades de medida, que carregam certas contradições de teorias substituídas, como por exemplo a 'caloria', que ainda geram mal-entendidos entre os estudantes e muitos professores de disciplinas específicas.

Sugerimos cada vez mais a focalização, nos estudos de CN, no desempenho do ator principal das cenas que ilustram as interações.

No último quadro, insistimos com a leitura dinâmica, com regularidades na direção horizontal, transformações na direção vertical. Aqui, a transformação total da energia em sistemas isolados deve ser lida tanto na horizontal como na vertical. As regras do jogo são tão importantes quanto o próprio conhecimento do desempenho do ator principal.

QUADRO 6

ESCALAS DE ENERGIA

UNIDADES		SISTEMA
J (Joule)	e.V (elettronvolt)	
10^{-18}	10^1	Ligação em átomo de Hidrogênio
10^{-14}	10^5	Ligação prót/-nêut/, núcleo Na.
10^{-10}	10^9	Fissão de núcleo do Urânio.
10^0		0,1 kg em queda de 1,0 m.
10^2		Lâmpada (100 w), emissão por seg/
10^4		Xícara de café quente.
10^6		28,3 l de gás natural.
10^7		Consumo de adulto em 24 h; de lâmpada de 100 w, em 24 h.
10^{10}		10^3 kg (1,0 ton) de carvão.
10^{14}		Fissão de núcleos pesados, a 'bomba atômica'.
10^{18}		Fusão de Hidrogênio-Hélio, a 'bomba de Hidrogênio'.
10^{24}		Radiação do sol recebida pela Terra, por ano.
10^{30}		Rotação da Terra em um ano.
10^{30}		Radiação emitida pelo sol/ano
10^{40}		Explosão de supernova.

NOTAS E REFERÊNCIAS VI

1.- Consultar Helmholtz (original de 1848), "On the Conservation of 'Kraft'", in Gateway to The Great Books, vol. 8, 'Natural Sciences', Chicago, Britannica, 1969. Um estudo abrangente na perspectiva histórico/conceitual de Clausius, é de Aurani, K. M. 'Ensino de Conceitos: Estudo das Origens da Segunda Lei da Termodinâmica e do Conceito de Entropia, a partir do século XVIII'. Dissertação de Mestrado, IFUSP/FEUSP, 1987.

2.- Trata-se de um denso ensaio pouco conhecido, original de 1959, Khun, T. 'Energy Conservation as an example of Simultaneous Discovery', in Clagett, Marshall (ed.) Critical Problems in the History of Science. The Un. of Wisconsin Press, Madison, 1959, pp. 321/356. Está discutido em minha dissertação de mestrado: Angotti, J.A. 'Solução Alternativa para a Formação de Professores de Ciências'. S.Paulo, IFUSP/FEUSP, 1982, cap.3.

3.- Os Professores de Física do segundo grau não conseguem introduzir a grandeza Energia sem o auxílio da de Força, que inclui a massa. Definem trabalho, daí os tipos de energia mecânica, potencial e cinética. Uma abstração enorme, não atingida pelos estudantes. É melhor assumi-la como primitiva, dizendo, sem definir, que 'Energia é algo que se conserva nas interações', exemplificando diversas formas (mecânica, térmica, elétrica...), para depois caracterizar os tipos, fundamentalmente associados à velocidade-cinética e posição-potencial; no último caso apenas para campos conservativos, o que se faz também com exemplos, pois o nível de abstração é também grande. Consultar qualquer texto de Física para o segundo grau (são cópias uns dos outros). Há alguma diferença em qualidade, a favor do livro de Alvarenga, B. 'Física', SPaulo, Moderna, 3 vols., 1986. Este também não foge à regra ao definir energia; consultar vol 2, caps 1 e 2. Uma alternativa que proponho está em Angotti&Delizoicov 'Física', Subsídios para o Segundo Grau, Núcleo Comum - Coleção Magistério - , SPaulo, Cortez, 1991.

4.- Consultar textos em Física, nível do terceiro grau, ciclo básico. Em particular, Halliday&Resnick, vol 2., caps. 7 e 22 ou qualquer outro semelhante. 'Energia é uma função, um atributo do estado de um sistema'. Em linguagem matemática, ela se caracteriza como uma 'diferencial exata'. Consultar Johnson. T.N. 'Termodinâmica' um texto mais avançado em matemática do que o de Halliday.

5.- Angotti& Delizoicov (1990, 1991), já citados. Pernambuco, M.M. 'Ensino de Ciências a partir dos Problemas da Comunidade': Dissertação de Mestrado, S. Paulo, IFUSP/FEUSP, 1981. O conjunto de publicações do grupo está listado em Angotti et alii: 'Pesquisa em ensino de ciências: uma posição; Interdisciplinaridade, Totalidades e Rupturas', in: Moreira & Axt (orgs.) 'Atas do III EPEF' P.Alegre, UFRGS, 1990, pp.93/111.

6.- Ver Solomon, J. 'Teaching the conservation of energy', Phys. Educ. n. 165, 1983 pp. 165/170; Watts, D. 'Some alternative views of energy', Phys. Educ. 18 (213)-6, 1983.

7.- Conforme pesquisas de Driver, R. 'The Students' Understanding of Heat and Energy' Report, Un. of Surrey, 1988. , Barros, S.S. 'Concepções Alternativas sobre o Conceito de Energia', in: *Resumo do II EPEF*, S.Paulo, IFUSP, 1988. Resultados de pesquisas no Brasil não indicam diferenças qualitativas dos realizados na Inglaterra, com relação às boas compreensões do conceito que os alunos revelam. Pesquisas realizadas com crianças revelam incompreensões e confusão sobre a 'magia' do conceito; a carga de informação da mídia contribui para a situação; os professores primários da Inglaterra revelam várias incompreensões e demonstram não ter conhecimento estruturado e crítico do conceito e da conservação. Consultar: Solomon, J. 'Learning about energy; how pupils think in two domains', Eur.J.Sci. Educ. n.5 pp. 49/59, 1983; Kruger, C. "Some primary teachers' ideas about energy", Phys. Educ. n. 25, 1990, pp.87/91.

8.- Consultar Stengers, I. 'Quem tem medo da Ciência?: Ciência e Poderes', S.Paulo, Siciliano, 1990. A autora adota posição fortemente crítica a Piaget ao discutir a categoria *interesse*; sugere que os estádios podem ser ultrapassados, mas não indica sua fonte. Nas últimas publicações do autor, em especial Piaget&Garcia: 'Psicogênese e História das Ciências' Lisboa, Dom Quixote, 1987, a relação estádio/faixa etária é relativizada em função do ambiente sócio-cultural. Contudo, é mantida a transição de um estádio para outro subsequente, sem possibilidade de salto, para todos os indivíduos de qualquer cultura. Nos vários estudos sobre Piaget, Barbara Freitag também mantém a evolução por etapas dos estádios como universal.

9.- Feymann começa seu curso com o conceito, vol.1, cap.1; texto de Halliday-Resnick menciona o termo 'unificador' para a grandeza, trata vários exemplos ao longo dos capítulos, em todos os 4 volumes.

10.- Muitos textos de Física de terceiro e mesmo segundo grau, como os do projeto PSSC, utilizam escalas com potências de dez em seus capítulos iniciais; livros de divulgação científica, como o de Weisskopf, também. As 'potências de dez' constituem matérias rica de divulgação científica em várias publicações; por exemplo em 'Ciência Hoje', 'Revista Geográfica Brasileira' e mesmo 'Superinteressante'. O tema foi tratado em pelo menos uma das edições nos últimos três anos. Por outro lado, é assunto constante nos cursos de Física, faz parte da formação dos profissionais da área. Por que só da formação dos físicos?

11.- Consultar de Zanetic, J. 'Física também é Cultura', principalmente caps. 1, 4 e 5. Todo um universo cultural em que a Física participa ativamente é considerado neste trabalho. Por exemplo, a Física presente explicitamente nos escritos de Poe e Dostoievski.

CAPÍTULO 7 - FÍSICA: COMPARTIMENTOS E UNIDADE

7.1- TRÊS QUESTÕES DE FÍSICA PARA O ENSINO DE FÍSICA

A tensão entre fragmentos e totalidades está presente também no ensino de CN, em particular no de Física, nossa área de atuação.

Nesta atividade, permanece uma tendência livresca e pouco representativa frente ao conhecimento na área, tanto o clássico como principalmente o moderno. Tendência livresca e parametrizada pelo vestibular no segundo grau, confusa e escorregadia nos últimos anos do primeiro, cansativa, plena de receitas e atrasada no terceiro. Dentre as causas, uma delas é a histórica, a dos compêndios, já comentada, oriunda do colégio-modelo do último século, o 'Pedro II'. Outra é internacional, interna à área, que insiste na tradição de se transmitirem os sucessos da Física mecanicista e determinista.

A partir da década de 30, tivemos um surto científico no país, em particular a introdução efetiva da pesquisa em Física (criação da USP, do CBPF e outros centros, cap. 1, item 1.4), que porém não foi acompanhado de mudanças compatíveis no ensino de ampla escala. Escolas secundárias foram criadas, a disciplina ficava muitas vezes sob responsabilidade de profissionais não graduados em Física, e a prática do ensino através dos compêndios se expandiu. Os projetos, numerosos a partir de 60, não conseguiram alterar a situação, em escala. Os livros-textos hoje adotados são resultados de antigas apostilas de cursinhos vestibulares, escritos por professores de 'sucesso'.

Com esta panorâmica, mesmo com todas as insuficiências, analisaremos, do ponto de vista dos 'conteúdos' que se pretende ensinar, três conflitos internos ao conhecimento da matéria, projetados no seu ensinar-aprender e colocados na forma de questões/contraposições, a saber: *Física material e ondulatória; Física clássica e moderna; Física do equilíbrio e irreversibilidade*. O referencial aqui é a tensão maior em discussão neste trabalho e seus reflexos no aspecto da educação em CN, em particular o ensino de Física.

Há uma cronologia entre os conflitos, enquanto problemas de pesquisa, que se propagaram no ensino. O primeiro é 'velho', deflagrado pelos pioneiros da Ciência (moderna). De um lado, Newton com o primeiro modelo corpuscular para a luz, isto é, estendendo a Física Material (da Mecânica) para a Óptica; de outro Huygens, com seu modelo ondulatório para a luz. Na época, século XVII, a Física Material já se impunha, sob o comando de Descartes e Newton, que

avanzaram modelos de seus antecessores, todos inspirados pelas idéias iniciais dos atomistas gregos ¹.

Com o tempo, o ocidente continuou avançando sua Ciência sob a égide da Física Material, base da revolução industrial do século XVIII, com alguns espaços obtidos pela Física Ondulatória. Os fenômenos ópticos de interferência e difração são explicados classicamente pelo modelo ondulatório da luz. Com os estudos sobre eletricidade, a teoria ondulatória se impôs, através dos estudos de Faraday e Maxwell principalmente, com amplas aplicações, fortalecendo a Física Material, que passa a incorporar os corpos com carga elétrica total não nula além dos da Termodinâmica. A conservação da Energia associada ao próprio conceito, assim como a sua degradação, passam a conectar campos do conhecimento em Física outrora distintos. Contudo a nova grandeza não chegou a ameaçar o reinado da *massa*; ela (a energia) apenas começava a ser reconhecida como unificadora de várias áreas, incluída a Ondulatória Clássica ².

No início deste século, cada uma das 'físicas' mantinha seu território, sua área de influência, até o conflito ser reaberto com novos resultados que não podiam ser totalmente explicados pelas teorias clássicas.

Uma ruptura conceitual acontece então, com o modelo de 'fóton' (partícula de luz), seguida por teoria que indicava um comportamento ondulatório para partículas na escala atômica, confirmada na década de 20. Com a 'dualidade onda-partícula' passamos a ter novo cenário, porém uma nova interpretação para o conflito, agora sob bases de uma nova Física, a Quântica. Este modelo é aceito até hoje, fortalecido por princípios novos, em validade, como o da 'Incerteza' de Heisenberg, aliado às interpretações de natureza probabilística da chamada Escola de Copenhague ³.

O segundo conflito, instalado ao final do primeiro (enquanto modelos clássicos de *matéria* e de *onda*), rompe com todos os alicerces seguros da física clássica madura. Além das novas interpretações da Física Quântica, a Teoria da Relatividade proposta, na sua forma restrita, desde 1905, também causou grande perplexidade na época e sobrevive até hoje. Aqui não trataremos a fundo estas questões, do ponto de vista histórico; há vários estudos sobre o assunto, inclusive de autores brasileiros. Trata-se de evocá-las, caracterizá-las em termos epistemológicos, para verificarmos até que ponto estão presentes, ou não, nos cursos de Física e de CN.

O terceiro conflito, novíssimo, é fruto recente da pesquisa em Física somente, aliada a outras áreas do conhecimento (Matemática e várias Ciências Aplicadas), na análise interdisciplinar de problemas considerados *complexos*. Ele parece questionar os resultados da Ciência atual, tentando apontar novos caminhos para o devir ⁴.

Em linhas gerais, detectamos dois grupos de pesquisadores que enfrentam, cada um à sua maneira, o terceiro conflito. Aqueles que acreditam na unificação das forças, na ordem, numa provável explicação 'simples' para todas as interações, até mesmo na transparência ainda não desvelada, como Bohm e Hawking; aqueles que procuram desafios locais, ainda não modelados,

como a turbulência que surge da água que jorra rápida de uma torneira, preocupados mais com o 'caos', fascinados com a irreversibilidade, a exemplo de Prigogine ⁵. Publicações recentes aquecem o conflito, mesmo programas de TV citam aspectos relativos aos problemas atuais, sejam cosmológicos ou da física de partículas, seja de turbulência, dos mecanismos irreversíveis.

Localizados os três conflitos, perguntamos : *em que nível e como são tratados no ensino de Física escolar ?*

O centro da discussão deste capítulo está nos desdobramentos desta questão. Para buscar respostas, precisamos verificar o que está sendo privilegiado, enquanto 'saber escolar em Física', nos três níveis de escolaridade. O estudo pretende subsidiar os problemas da Física e das CN enquanto cultura; portanto, mesmo no terceiro grau nos ocupamos de curso que não o de Física propriamente, mas sim com um dos que mais prescinde do conhecimento dessa ciência para o exercício profissional, o curso de Engenharia.

Importante demais para a formação básica dos engenheirandos, a Física é um 'osso duro de roer' para esses jovens; importante demais também como amostra representativa, uma vez que os cursos básicos para esta carreira são majoritários, em turmas e número de alunos. Conseqüentemente, ocupam mais professores do que as demais áreas que freqüentam cursos nos departamentos de Física. Finalmente, a escolha não é estranha à minha experiência de trabalho docente; conheço-a internamente, na prática e na reflexão, tendo trabalhado por 12 anos em várias escolas deste ramo profissional como professor de todas as disciplinas de Física Básica, seja em Teoria, seja em Laboratório.

7.2- ENSINO DE FÍSICA NO PRIMEIRO E SEGUNDO GRAUS

A experiência de conviver com professores de Física no segundo grau, a análise dos textos mais adotados, a constatação de que, no primeiro grau, a grande maioria dos professores são graduados em Biologia, sem quase nenhum desembaraço com a Física, indicam que: nas salas de aula está presente hoje, a partir da escola secundária, apenas um traço do primeiro conflito, com larga vantagem para a Física material. As demais, ausentes, negadas ou ignoradas, mesmo ao considerarmos os 'melhores cursos de segundo grau', mesmo se considerarmos o padrão 'eficiente' das escolas técnicas federais e algumas estaduais. Nestas, algum assunto de Física Contemporânea está presente nas habilitações como a de Eletrônica, mas não é conteúdo dos cursos básicos de Física.

A escola secundária brasileira, pobre em quantidade de alunos e qualidade de estudos, padece, desde sua origem, de crise de identidade. O dualismo entre ensino propedêutico, marcado pelo colégio Pedro II e seus sucedâneos, e ensino profissionalizante, marcado pela fundação das escolas normais pioneiras e demais áreas com demanda de mercado, mantém-se até hoje ⁶.

Discute-se intensamente na esfera educacional este dualismo, amadurecem-se teoricamente proposições futuristas que apostam na transformação estrutural da sociedade, como a 'politecnia' prevista por Marx, trabalhada neste século por Gramsci (ver cap.2, itens 2.1 e 2.2).

Dentre os educadores brasileiros preocupados com o problema, Gaudêncio Frigotto⁷ revela, para mim, lucidez e contemporaneidade ao priorizar o 'eixo tecnológico' enquanto determinante nas relações sociais, numa abordagem dialética.

O estudo e a aprendizagem de CN têm muito a ver com estas questões, desdobrados nas três disciplinas do currículo. Neste nível, a população estudantil já pode ter acesso crítico a este conhecimento, em virtude de seus níveis médios de cognição. Para além do dualismo, das pressões do vestibular, há uma discussão interna, focalizada no campo dos 'conteúdos escolares'. Aqui, como já apontado, pretendo deslocar a discussão para a prevalência dos *conceitos unificadores*, sua potencialidade nas condições atuais das escolas, que contam com o maior número de alunos no período noturno.

É esta última base, a dos conceitos supradisciplinares, que me impulsiona a responder à questão do capítulo, além da reflexão/prática junto a professores, estagiários e mestrands, que lecionam neste nível em escolas públicas noturnas.

Os professores de Física, atuando no segundo grau, graduados ou não (falamos do Brasil real), sequer acompanham o terceiro conflito, têm noções vagas do segundo e alguma segurança no primeiro. Na sua atividade, não praticam nenhum deles, pois os livros-textos em que se baseiam, os programas curriculares que 'seguem', priorizam somente o primeiro conflito, com destaque para a Física Material, escamoteando a Ondulatória. Os outros dois, não são considerados, embora haja pequena chance de se introduzir brevemente alguns traços de Física Moderna. Isto porque universidades começam a solicitar, em seus vestibulares, tópicos de conhecimento criados neste século.

Afirmo que a prioridade aos quatro conceitos unificadores discutidos permite melhor comunicação entre os elementos dos conflitos. A proposição aponta para transformações também na formação destes quadros. Porém, como não estamos tratando diretamente deste aspecto, tampouco de propostas curriculares, julgamos bem-vindos, no futuro, estudos localizados sobre estes aspectos.

Temos experiência na elaboração de material didático com esta estrutura⁸, apresentado parcialmente no apêndice 1.

7.3 - ENSINO DE FÍSICA BÁSICA NO 3º GRAU: CURSO DE ENGENHARIA

Com relação ao terceiro grau, aos cursos para Engenharia, decidimos consultar professores, via enquête. Formulamos um questionário (apêndice 2), distribuindo-o para muitas instituições

(quase todas as representativas do país), federais, estaduais e fundacionais. Tivemos um índice razoável de respostas (total de 16), tabulamos os dados.

As respostas apontam para: enfrentamento do primeiro conflito, com prioridade para a Física Material (um certo peso da Mecânica, área que desequilibra os cursos da carreira), pouca discussão sobre Física Moderna, o que é injustificável atualmente, considerando-se o Brasil moderno, a tecnologia implantada e a desejada; ausência (por consequência) do terceiro conflito.

Com uma amostragem que envolve centenas de professores e cerca de 11.000 alunos, confiamos na fidedignidade e validade das respostas. Ademais, tivemos relativa sorte; escolas de reputação atenderam nosso pedido. Generalizamos, na confiança de que as que não responderam não constituem exceção; pelo contrário, porque são mais tradicionais.

O final do capítulo reforça o 'que fazer', aliado ao 'como fazer' educativos em Física. Pergunta também pela eventual ponte que os conceitos supradisciplinares podem construir para ganhos culturais junto às disciplinas de Química e de Biologia

Diante do que a Ciência fez, faz e provavelmente fará, há um espaço de intervenção nos assuntos de conhecimento, sem desprezar metodologias, que me estimula a pesquisar, propor, discutir e aplicar.

A responsabilidade é nossa. Algum conhecimento é priorizado em detrimento de outro. Está defasado, está longe de causar *alegria* e prazer junto a quem os estuda. Está muito distante da Física vulgarizada nos jornais, TV e bancas. Ou será que devemos continuar com a nossa pretensa 'pureza'?

7.3.1- ANALISANDO DADOS DE UMA ENQUETE

Preparamos um questionário no início de 89, dirigido a professores de Física de escolas de terceiro grau, que lecionam no ciclo básico universitário para qualquer curso de ENGENHARIA. A razão desta escolha prende-se à nossa intenção de mantermos a perspectiva de conhecimento em Física enquanto instrumento para formação. Assim, não dirigimos o questionário aos cursos de formação em Física porque, neste caso, teríamos que voltar o eixo de nossas proposições e questões para a formação do Físico, seja professor, seja pesquisador, ou ambos. Permanece contudo a vinculação de fundo que mantemos, ainda que implicitamente, com esta formação, que deve ser transformada. Isto para que sejam efetivadas as mudanças que defendemos para a apreensão do conhecimento. Atualmente ele permanece fechado/restrito para as maiorias, sendo relativamente acessível a pequena parcela da população - aquela que é 'obrigada' a estudar Física. A dupla tarefa dos físicos educadores comprometidos com a mudança é alterar o conhecimento

atual, através da inserção de tópicos e temas significativos com ênfase conceitual supradisciplinar e paralelamente torná-lo mais vivo e aberto às populações escolarizadas.

Muitas das discussões deste capítulo estarão diretamente ligadas à formação do professor de Física, mais intensamente que nos demais capítulos. Estamos, conscientemente, partindo para os efeitos do nosso ensino, fortemente relacionados com a nossa própria formação. Mudanças lá implicam diretamente mudanças cá e, sem essa recorrência biunívoca, nenhuma alteração no quadro atual se dará. Contudo, mantemos nossa opção para investigação mais profunda no conhecimento de CN e de Física enquanto instrumento cultural, particularmente também como instrumento profissional para os futuros engenheiros.

O questionário foi de início testado por cinco docentes de escolas e regiões distintas. Das discussões e sugestões, reformulamos alguns itens e acrescentamos outros. A versão final foi inicialmente distribuída em mãos, ainda em janeiro de 89, por ocasião do VIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, realizado no Rio de Janeiro. Logo a seguir, enviamos cópias a outras instituições pelo correio (total de 77), entre universidades federais, fundacionais e particulares. Não discriminamos as áreas/ênfases dos cursos de engenharia, uma vez que todas elas mantêm cursos de Física em seus ciclos básicos; mantivemos como parâmetro a resposta dos docentes oriundos de departamentos de Física, em sua maioria com formação inicial, de graduação, em Física.

Com um prazo bastante elástico, de quatro meses, recebi 16 questionários respondidos, o que perfaz um razoável índice de 20% sobre os enviados. As respostas vieram de vários estados e instituições, consolidando a significância à nossa amostra.

Dividi as questões em três partes, sendo a primeira com 8 questões que localizam a instituição, o departamento, número de aulas, turmas e alunos de engenharia. A segunda, intitulada 'Currículos e Programas', lançou 5 questões para respostas segundo escalas de prioridades, com itens fechados, para os tópicos consagrados ao ensino de Física Geral e Experimental desse nível de escolaridade. Aqui estão localizados os aspectos de conteúdo dos cursos, de muito interesse para nossa discussão (consultar cópia do questionário no apêndice 2).

Cada um dos itens dessa seção é pautado pelas clássicas divisões dos conteúdos da área, como Mecânica, Termodinâmica, Eletricidade e Magnetismo, Óptica, Oscilações, Ondulatória e Física Moderna. Mantivemos um interesse nesta parte somente para aspectos do conhecimento em Física que são priorizados ou não, independente da metodologia e técnica de ensino utilizada para implementar esse conhecimento. Para essa nossa etapa de investigação, é prioritário e fundamental conhecer o que se estuda e o que não se estuda, além das ênfases com que se estuda.

A terceira e maior seção pergunta sobre a distribuição dos programas dos cursos, incluindo também os aspectos metodológicos, infra-estrutura de equipamentos, textos adotados, pré-requisitos e avaliação. O código de respostas varia segundo a formulação da pergunta (consultar apêndice 2). Embora não tenha solicitado a identificação dos professores, eles o fizeram em

maioria. Pude assim avaliar que boa parte das respostas foi dada por equipe de docentes, sendo algumas apenas pelo coordenador.

A seguir, fornecemos resultados resumidos e médias quando possível.

A- DADOS GERAIS.

Número médio de disciplinas semestrais- Teoria: 4; Laboratório: 3.

Estados: representados: nove (PB, AL, MS, MG, RJ, SP, PR, SC, RS).

Instituições que responderam: Un.Federais: 08; Escolas Federais de Engenharia: 02; Un. Estaduais: 04; Un. Fundacionais: 02 e Escolas Particulares de Engenharia: zero.

Número médio de aulas semanais: 04- teoria; 02-laboratório.

Média de semanas dos cursos semestrais: 15

Total de matrículas nos Deps. de Física: 19.500

Total de matrículas nos cursos de Engenharia: 11.000

Total de professores de Física nos Deps: 570 (média aqui não faz sentido, pois somente duas universidades estaduais de São Paulo mantêm 290 quadros).

Total de professores envolvidos nos cursos para engenheirandos: 265

Média de alunos por turma: 50- teoria; 25- laboratório

Índices de aprovação, sobre alunos freqÜentes: 57 % -todos os cursos e também para engenharia.

B- PROGRAMAS E CONTEÚDOS.

O código fechado nas respostas para as prioridades voltadas aos conteúdos foi:

- a*- prioridade alta,
- b*- prioridade média,
- c*- prioridade baixa,
- d*- assunto não abordado.

As respostas estão lançadas nos quadros adiante seguidos de comentários sobre os resultados numéricos e ênfases. Consciente da não neutralidade frente aos dados, farei também comentários baseados nas respostas, nas estruturas dos Departamentos e Instituições e também na nossa experiência de trabalho de 12 anos de docência nestes cursos em escolas de Engenharia.

O primeiro tópico pergutado refere-se à Mecânica, ponto de partida de todos os cursos de Física no segundo e terceiro graus. Agrupei as respostas que consideram as prioridades; os números para cada item dos tópicos e do código acima explicitado indicam os subtotais de Departamentos, totalizando sempre 16.

TABELA I - QUADRO GERAL DAS RESPOSTAS- VISÃO GERAL

MECÂNICA	ESTÁTICA				CINEMÁTICA				DINÂMICA			
PARTÍCULA	9	3	0	4	12	4	0	0	16	0	0	0
SÓLIDO	9	4	1	2	9	4	1	2	8	4	0	4
FLUIDO	3	4	3	6	1	4	4	7	0	6	3	7
TERMODINÂMICA												
TERMOMETRIA/ CALORIMETRIA				GÁS IDEAL				GÁS REAL				
9	4	3	0	7	4	4	1	3	2	9	1	
PRIMEIRO PRINCÍPIO				SEGUNDO PRINCÍPIO				DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS				
13	2	1	0	10	3	2	1	1	2	6	7	
ELETRICIDADE												
ELETROSTÁTICA/ MAGNETOSTÁTICA				ELETRODIN/ MAGNETODIN				ELETROMAG/ ONDAS				
15	0	1	0	13	3	0	0	13	3	0	0	
ONDULATÓRIA												
OSCILAÇÕES				ONDAS ELÁST/ SONORAS				FENOMS OND/ LUMINOSAS				
15	0	0	1	10	2	3	1	12	2	2	0	
ONDAS E/M				OPT/FÍSICA				OPT/GEOMETR/ ÓPTICA				
8	3	3	2	7	5	1	3	1	5	3	6	

cont. p. 11

FISICA MODERNA

CIN/RELATIV/

DIN/RELATIV/

DUALIDADE

2 4 3 7

2 1 3 10

4 3 6 3

FIS/QUÂNTICA

EST SÓLIDO

FÍS/NUCLEAR

3 2 4 7

1 1 4 10

1 1 5 9

TABELA II - QUADRO-SÍNTESE DAS RESPOSTAS.

SÍNTESE

FÍSICA MATERIAL

FÍS/ONDULAT/

FÍS/MODERNA

16 0 0 0

10 3 3 0

1 3 8 4

C- DADOS PARCIAIS DISCUTIDOS POR T6PICO - VISÃO DETALHADA

A tabela I será desdobrada em parciais, para análise e discussão dos assuntos/t6picos relativos a cada uma das áreas.

TABELA 1. MECÂNICA

	ESTÁTICA				CINEMÁTICA				DINÂMICA			
PARTÍCULA	9	3	0	4	12	4	0	0	16	0	0	0
SÓLIDO	9	4	1	2	9	4	1	2	8	4	0	4
FLUIDO	3	4	3	6	1	4	4	7	0	6	3	7

O assunto ‘campeão’ das prioridades sem dúvida alguma é a ‘*dinâmica das partículas*’; todas as instituições trabalham o assunto com alta prioridade. Por esse título, entendemos o tratamento das partículas em interação a partir das leis de Newton, seguido pela introdução à Quantidade de Movimento-linear e também angular (para partículas)- e aos conceitos de Trabalho e de Energia aplicados a sistemas mecânicos conservativos macroscópicos. Ainda que ocorram desníveis de prioridade entre o primeiro assunto e os demais, importantíssimos por introduzirem três grandezas associadas a princípios de conservação, mas nem sempre tão fortemente presentes, assim consideramos.

Esses números confirmam a impregnação da Física Newtoniana em nossa formação enquanto professores de cursos de Física, acrescentados à tradição dos cursos de Engenharia voltada para os ramos ‘civil’ e ‘mecânico’, ambos vinculados às dimensões macroscópicas do nível ergométrico.

A notar também uma boa prioridade ainda dedicada à Estática (partícula e sólido), seguramente em duplicidade com as disciplinas de Mecânica Geral, oferecidas em dois semestres a partir do quarto período, como obrigatórias, em geral sob responsabilidade dos Departamentos de Física (consultar apêndice 3 -currículo mínimo de Engenharia Mecânica da UFSC, como

exemplo). Este mesmo comentário sobre superposição de assuntos vale para a Cinemática e a Dinâmica, também repetidos com maior complexidade e voltados para aplicações a corpos extensivos, em Mecânica Geral. Isso demonstra ser a Mecânica Newtoniana o paradigma de ensino essencial para a nossa formação (em Física) e mais ainda para a dos engenheiros.

Se considerarmos que esses assuntos, tomados a nível introdutório, estão sempre presentes nos cursos de segundo grau, muitas vezes sendo quase os únicos desse nível de escolaridade, temos uma repetição exaustiva de estudo, sempre em profundidade crescente, é certo, para os engenheirandos. Ademais, ele também estará muito enfatizado nas disciplinas profissionalizantes como Resistência dos Materiais, Dinâmica das Máquinas, Vibrações...

Em contrapartida, não se priorizam os fluidos, a 'massa escorregadia' que, sob a ótica de leis e princípios gerais da Mecânica, podem e devem ser igualmente tratados.

O argumento eventual de que esse assunto será objeto de estudo na disciplina Mecânica dos Fluidos, também obrigatória, pode ser levantado. Porém, só fará acentuar a assimetria de tratamento com relação ao sólido e à partícula, que contam com preparações anteriores.

Pode-se argumentar também que o material rígido será pré-requisito para os fluidos, que merecem tratamento matemático mais sofisticado. Ainda assim, vale perguntar se não haveria maneira mais geral e unificada de tratamento de leis gerais nos cursos básicos, com maior varredura nos estados da matéria, para servir de base para os cursos posteriores, que darão tratamento sistemático detalhado.

Constata-se pelas respostas o que se poderia inferir; a Mecânica é prioritária, mas somente a da partículas e, quase tão prioritária, a do sólido. Tais assuntos são bastante repetidos tornando-se o grande pilar de formação do engenheiro que atuará em qualquer ramo. Será justa essa prioridade excessiva frente à democratização do saber em Física que é amplo e diversificado? Esses excessos não fecham as teorias de Mecânica a ponto de serem invioláveis mais tarde, impedindo aos engenheirandos o acesso ao saber da Física do século XX?

TABELA 2:TERMODINÂMICA

TERMOMETRIA/ CALORIMETRIA	GÁS IDEAL	GÁS REAL
9 4 3 0	7 4 4 1	3 2 9 1
PRIMEIRO PRINCÍPIO	SEGUNDO PRINCÍPIO	DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS
13 2 1 0	10 3 2 1	1 2 6 7

OBS: Ler os números na sequência de prioridades do código das questões: *a*- prioridade alta, *b*- prioridade média, *c*- prioridade baixa, *d*- assunto não abordado.Exemplo: TERMOMETRIA/CALORIMETRIA. 09 respostas a, 04 respostas b, 03 respostas c e 0 respostas d.

As respostas indicam prioridade para a identificação entre o calor e a mecânica, através da conservação de energia, expressa no primeiro princípio da termodinâmica.

Ainda verificamos bastante ênfase nos assuntos de ‘termometria e trocas de calor’, uma duplicidade com os cursos secundários no passado, e uma outra (triplicidade?) no futuro, uma vez que os engenheirandos farão obrigatoriamente cursos mais aplicados de Termodinâmica, tradicionalmente apoiados em ‘tabelas de conversão’, e também nos ‘fatores de forma’. Ou seja, alguns assuntos ‘tópicos’ estão muito presentes, em detrimento dos *conceituais e da base teórica de conservação e degradação de energia*.

Parece estar ainda presente um paradigma remanescente das velhas conceituações sobre ‘*um calor apartado da mecânica*’ (o calórico) travestidas nas teorias clássicas aceitas atualmente, com domínio restrito.

Em contrapartida, a abordagem do conceito sofisticado de entropia associado à degradação de energia, crucial para posteriores compreensões dos processos irreversíveis tão relevantes para a pesquisa atual, é indicada como prioridade alta apenas em 10 das 16 escolas. Ainda, como os cursos atuais de Física não vêm priorizando as distribuições estatísticas, poderá escapar ao futuro engenheiro a compreensão plena do conceito, que pressupõe familiaridade com teorias de probabilidades⁹.

Podemos, em função dos dados, traduzir a efetiva transferência da conservação da energia da mecânica- *conservativa* ao calor- *dissipativa*, conservação ainda empanada por tópicos sobre calor

que bem poderiam ser menos abordados. Contudo, o conjunto das disciplinas em discussão não releva o segundo princípio, justamente o fundamental que impõe/identifica *limitações* (naturais) de conversão entre essas duas formas de energia, no sentido do calor para a Mecânica. Conversão entre duas formas de energia que não é comutativa, quanto às possibilidades quantificadas.

Esta carência tem implicações que resultam tanto em dificuldades para a apreensão do conhecimento estruturado em Física pelos engenheirandos, como também em lacunas. Na profissão ou por interesse, os alunos terão dificuldade em estudar assuntos atualíssimos como a seta do tempo, novas teorias sobre o universo térmico. Menos ainda quando do estudo de sistemas abertos, como os vivos, que constroem ordens a partir de caos, com decréscimos locais de entropia. Como poderão avançar estudos interdisciplinares sobre ecologia e ecotecnologia os nossos engenheiros?

Toda a densidade da terceira questão que formulamos no início deste capítulo se estende por essas perguntas aqui lançadas. Temos então uma dívida com esses alunos de elite, aquela relativa a uma melhor estruturação de Física Térmica atual e mesmo clássica.

Do ponto de vista interno ao conhecimento em Física, o conceito de entropia abre caminhos para a introdução da Física Quântica, aplicada à teoria da variação do calor específico com a temperatura e a quantização da energia na radiação do corpo negro e/ou cavidades¹⁰. Ocorre também nesta esfera do conhecimento em avanço outra obstrução ao futuro engenheiro.

Argumentar hoje que as teorias clássicas são o fundamento da Física é válido; porém tal afirmação não exclui as *teorias modernas também enquanto fundamentos*.

Em Física Térmica, à semelhança da Mecânica, tudo indica que o ensino de Física básica para Engenharia incorpora uma assimetria de conteúdos, com nítida desvantagem para o 'novo conhecimento'. A pesquisa que os professores desses alunos estão realizando, seguramente mais centrada no 'novo conhecimento', parece não ressoar minimamente nos cursos que ministram. Torna-se difícil aos estudantes a articulação entre o conhecimento que é notícia, os avanços tecnológicos, com o que é veiculado, mais difícil ainda perceberem ligação entre os campos epistemológico, tecnológico e o pedagógico de sua formação.

TABELA 3- ELETRICIDADE

ELETROSTÁTICA/ MAGNETOSTÁTICA				ELETRODIN/ MAGNETOSTÁTICA				ELETROMAG/ MAGNETOSTÁTICA			
15	0	1	0	13	3	0	0	13	3	0	0

Nesse campo propusemos os assuntos ainda mais compactados do que nos anteriores. Foi intencional, pois não interessava alterar os tópicos de maneira a classificá-los por conceitos como os de 'campo, potencial, indução', menos ainda pelas leis do eletromagnetismo. Mantivemos a classificação tópica como nas duas áreas anteriores, ainda mais compactada porque não é comumente tratada- por exemplo a eletricidade de corpos extensivos, sólidos ou não- nesse nível de graduação. Leia-se portanto na tabela 'interações de partículas submetidas a campos uniformes e estacionários nos casos de estática e dependentes do tempo em eletrodinâmica e eletromagnetismo'.

A referência básica para as chamadas de tópicos que utilizamos para Eletricidade e demais áreas é a do texto de Allonso e Finn (1973), reconhecidamente um texto de qualidade, voltado para as novas teorias em Física, usado apenas para consulta e raramente adotado. Serviu o texto como uma contraposição ao mais adotado, o de Halliday e Resnick (1984), embora isso não tenha sido explicitado no questionário.

De certa forma, a compactação acabou por opacificar o que é efetivamente praticado em salas de aula. Sabemos da prioridade que a maioria das escolas ainda mantém para a eletrostática e a conseqüente pressão sobre os assuntos efetivos do eletromagnetismo, uma vez que os semestres letivos são 'curtos'. Isso é demonstrável quando cruzamos as informações deste quadro com outras, dos próximos segmentos.

A tradição dos assuntos de sucesso em eletricidade está fortemente representada aqui, analogamente aos comentários anteriores que já lançamos para Mecânica e Física Térmica.

Eletrostática e eletrodinâmica são capítulos consagrados no segundo grau, muito presentes nos exames de vestibular para engenharia. Serão também 'reforçados' mais tarde, em curso básico de eletricidade, como o de Circuitos Elétricos, e mesmo outros do ciclo profissionalizante. Desse reforço resulta uma carência justamente em eletromagnetismo, de importância crucial para a ligação com os estudos de Ondas Eletromagnéticas, além de uma outra ponte para a introdução em Relatividade e Física Quântica, principalmente quanto à Dualidade Onda-Partícula. À exceção

dos alunos que escolhem a carreira de Eletrotécnica e Eletrônica, os demais não terão outra oportunidade de estudar sistematicamente esse tópico (Eletromagnetismo) ao longo de sua graduação.

Cabe então perguntar: esta distribuição fortalece o argumento que defende a formação sólida no conhecimento fundamental em Física ? Para que tanta prioridade no estudo de 'cargas em repouso e circuitos idealizados com resistores constantes', de maneira a negligenciar o que é mais importante ?

Se concordamos com a homogeneidade às respostas, que prioriza todos os tópicos , estaremos democratizando as ênfases. Isso não pode ocorrer nesse campo da eletricidade; a prioridade para eletromagnetismo deveria estar evidente, contra os outros tópicos. Ocorre justamente o contrário, exceto em uma instituição, não por acaso a de maior tradição de pesquisa e formação no país.

A 'era da eletricidade' está presente aqui, a tradição da ciência clássica do século passado iniciada por Faraday e Maxwell também está ancorada nos bancos escolares, quase tão forte como a de Newton para a Mecânica. O ensino de Física parece amplamente defasado da sua pesquisa também neste tópico. Por exemplo, mesmo em eletrostática, a interpretação atual de "troca de fótons 'virtuais' pelos elétrons em equilíbrio" parece não ser debatida ¹¹ . Daí não ser injusto concluirmos que prevalece o enfoque clássico-tradicional, com 'resumo de teoria' e aplicação em exercícios, fornecidos nas conhecidas 'listas' que tão fortemente caracterizam esses cursos.

Alertamos que, mesmo com todo o tradicionalismo que ainda determina o Ensino de Física para Engenharia, se alterados os conteúdos e reconsideradas prioridades, poderemos obter resultados de aprendizagem dinâmica e estruturada em Física muito mais razoáveis do que os atuais. Os alunos teriam chances de melhor articular os tópicos estudados internamente em Física e com os outros cursos de seu currículo, também com os novos elementos que a tecnologia implementa. Tecnologia multidisciplinar, com sistemas termomecânicos, eletromecânicos, optoeletrônicos, etc.

TABELA 4- ONDULATÓRIA(incluindo ‘oscilações com massa’)

ONDULATÓRIA											
OSCILAÇÕES				ONDAS ELÁST/				FENOMS OND/			
15	0	0	1	10	2	3	1	12	2	2	0
ONDAS E/M				OPT/FÍSICA				OPT/GEOMETR/			
8	3	3	2	7	5	1	3	1	5	3	6

O primeiro tópico, sobre Oscilações, recebe um tratamento adequado enquanto prioritário em todas as escolas, porque faz ligação entre a Ondulatória e a área da Mecânica. Está ausente apenas em uma instituição, por pressões do ciclo profissionalizante que assume a responsabilidade de introduzir e amadurecer o assunto nos seus cursos 12. Em instrumental matemático as oscilações, tratadas com funções harmônicas, utilizam as equações diferenciais ordinárias de segunda ordem.

Outro aspecto que reforça a importância desse assunto é sua proximidade com o recente conceito de *atratores* (consultar ‘Caos’de Gleick, citado na nota 17 do cap.1), com tendência de vir a ser amplamente utilizado em Cosmologia e estudos sobre Ordens e Caos.

Nossa classificação é criticável porque esse assunto não é propriamente de ‘ondulatória’ por estar a massa envolvida diretamente nas oscilações; sua propagação é que resulta em ondas. Poderíamos ter classificado o assunto no item 1, de Mecânica, tendo como consequência um maior reforço desta área já tão destacada. Vê-se, pela prioridade que mostra a tabela 4, índices bastante próximos aos da Tabela 1, do tratamento de ‘partículas’.

Boa prioridade é dada aos tópicos de Ondas em Meios Elásticos e Fenômenos Ondulatórios. Assuntos de capital importância e grande abstração, que prescindem de modelos matemáticos mais sofisticados (funções variáveis no tempo e no espaço) e utilização freqüente de equações diferenciais homogêneas de segunda ordem 13.

Além da beleza e da concisão do modelo clássico ondulatório, ele é peça fundamental para o conflito que se dará posteriormente, quando dos estudos de introdução à Física Contemporânea, em particular na Dualidade Onda-Partícula.

O conhecimento em Física Ondulatória clássica embutido nos modelos aplicados aos fenômenos de Difração e Interferência já aponta para a distribuição anisotrópica de energia; se

bem explorado conceitualmente, esse modelo clássico será resgatado e contraposto pelo da *quantização*, da Física Moderna.

As respostas indicam ser prioritário esse assunto, embora seja notada menor prioridade às Ondas Eletromagnéticas, um tópico importantíssimo sob todos os aspectos. Notamos que somente metade das escolas concede alta prioridade ao assunto e também ao de Óptica Física, igualmente fundamental, tanto teoricamente como nas aplicações atuais.

A prioridade a esses dois tópicos é menor que aquela reservada ao Eletromagnetismo (ver tabela 3, item anterior). Tudo leva a indicar que ainda não temos tradição no ensino de Física destes assuntos, como a temos em tópicos anteriormente discutidos, onde domina a ‘massa com carga elétrica total nula’.

A variável ‘período letivo’ é também determinante, uma vez que esses dois assuntos são usualmente abordados ou não ao final dos semestres; muitas vezes são comprimidos, outras simplesmente negligenciados.

Essa dificuldade que temos, nos três graus de ensino, em terminar o programa estabelecido, é pouco discutida quanto aos prejuízos de aquisições pelos alunos. A maioria das escolas simplesmente não estabelece continuidade a partir do encerramento do curso anterior. Ficam as lacunas e as descontinuidades, presentes sobretudo nas partes finais das programações.

Do ponto de vista interno, da democratização do saber em Física, parece-me que mantemos em nossa consciência e na prática docente que efetivamos, uma hierarquização dos tópicos que não será quebrada facilmente. Estamos dispostos a explicitá-la para discussão e procurar caminhos para atacá-la. É o peso da Física Clássica vinculada à matéria/massa que historicamente marcou demais as relações sociais a partir do século XVIII, seus resultados aplicados que percebemos e que os alunos não percebem- essa situação está relacionada à crítica de que o ensino de Física é desligado da realidade. Infelizmente, muitos professores de segundo e mesmo terceiro grau reforçam essa hierarquização, sem perceber ou sem destacar os reflexos da Física Clássica nas demais áreas do conhecimento.

Não pensamos prioritariamente nos conceitos e nas relações quando preparamos aulas e cursos, mas sim nos conteúdos, nas ‘*garrafas de saber*’. Levamos, mesmo inconscientemente, essa hierarquização para as discussões em sala, obstruindo ou pelo menos dificultando aos alunos as extensões às generalizações dos modelos e teorias de um tópico a outro, de um curso a outro.

Ainda hoje, professores de um curso de Física III (sobre eletricidade), começam seus cursos convidando coloquialmente seus alunos a ‘esquecer o que viram e estudaram, com aprendizagem ou não, nos cursos anteriores de Física I e II’. Tive depoimentos de alunos em 1990 que presenciaram essa pérola. Essa irresponsabilidade com o conhecimento estruturado não pode ser atribuída aos textos. Por exemplo, se tomarmos o mais adotado e conhecido, de Hallyday e Resnick (1984), constatamos um bom trabalho didático sobre a ‘Conservação da Energia’, sempre parametrizada por exemplos semelhantes, de conteúdos distintos, nos seus 4 volumes,

estabelecendo pontes entre os tópicos. A estruturação é a mesma, equações, gráficos, esquemas idem. Na prática, essas pontes não são reforçadas, o pior é que são muitas vezes ‘implodidas’. Contribui para essa postura radicalmente fragmentária a divisão, na maioria das escolas, de grupos de professores vinculados por longos períodos letivos a somente uma das disciplinas básicas. Alguns conseguem lecionar por exemplo Física Geral I, Teoria ou Laboratório, durante dez ou mais anos, sem jamais permutar uma disciplina com um seu colega, que faz o mesmo em Física Geral II, Teoria ou Laboratório. É, de fato, muita ‘especialização’; não raro, a experiência não enriquece, porque se leciona ‘ n ’ vezes o mesmo curso, sem alterações!

Aqui também, um ensino que priorize conceitos e relações, com destaque para os unificadores, poderá evocar com frequência os traços universais dos modelos, aplicados a todos os tópicos. Os professores ‘especialistas’ poderão ter chance de discutir com seus pares mediante tais conceitos, que superam a sua ‘especialidade’, que o auxiliam a perceber que ‘Eletricidade é parente próximo da Mecânica e de outros tópicos’.

Os textos devem subsidiar nossas ações. Todos defendemos uma independência para com eles. Igualmente, os equipamentos de laboratório e apostilas são instrumentos de apoio didático. Não podem ser varridos par e passo, linearmente, sejam trabalhados até o final ou não. Esse processo indutivo, excessivamente fragmentado, certamente não possibilita à média dos alunos de engenharia (nem a outros) se apossarem das estruturas teóricas da Física Clássica. Mesmo cursos bastante repetidos ou superpostos como os de Mecânica não garantirão a apropriação do conhecimento crítico, ainda que possam garantir apropriação e mesmo aprofundamento em alguns tópicos a poucos estudantes.

TABELA 5- FÍSICA MODERNA

CIN/RELATIV/	DIN/RELATIV/	DUALIDADE
2 4 3 7	2 1 3 10	4 3 6 3
FIS/QUÂNTICA	EST SÓLIDO	FÍS/NUCLEAR
3 2 4 7	1 1 4 10	1 1 5 9

Ao considerarmos as altas prioridades dos tópicos anteriores e o número de disciplinas, além das aulas semanais e semestres dedicados aos cursos, o resultado só poderia ser este. Repete-se aqui a compressão de cada final de semestre já comentada. Cumpre-se, do que está planejado, o início do programa. Nas quatro disciplinas, em média, o último trimestre ou mesmo semestre jamais será suficiente para dar conta de toda uma introdução consistente- por isso mesmo conflitiva- aos assuntos de Física Moderna, ao Conhecimento deste século.

É preciso ressaltar que a maioria dos professores responsáveis por estas disciplinas, pesquisa justamente o campo do Conhecimento contemporâneo, aplicando os modelos da Física Clássica quando conveniente, nos seus domínios de validade. No entanto, ensinam quase tão-somente Física Clássica. Será o caso de se esperar pela pós-graduação? Não me parece razoável, seja por inconsistência na argumentação, que exagera pela defasagem entre conhecimento divulgado e conhecimento atual, seja pelo fato da imensa maioria dos engenheirandos não freqüentar tais cursos.

Engenheiros são profissionais que enfrentam questões, equipamentos, projetos muitas vezes ligados aos tópicos de Física Contemporânea. Quando essa superação se dá, ela ocorre fora da universidade, lamentavelmente.

C - DISTRIBUIÇÃO DO PROGRAMA

Nesta seção da enquete concentrei questões sobre a distribuição dos programas, cursos optativos, textos adotados, iniciativas metodológicas, influências de iniciativas externas como simpósios, revistas, publicações paradidáticas, junto aos cursos enfocados.

Apresentarei as respostas com breves comentários, que serão resgatados ao final do capítulo, para subsidiar uma discussão sobre a formação desses profissionais e a contrapartida do conhecimento em Física de que devem se apropriar, no quadro atual, ou no quadro proposto por esta tese.

Na primeira questão dessa seção, agrupamos os títulos anteriores (de conteúdos) em três campos: *Física Material*, que engloba o tratamento da massa e da carga elétrica; *Física Ondulatória*, os demais títulos clássicos (inclusive o Movimento Oscilatório, encarado como a visão 'estática' das ondas em propagação); *Física Moderna*, que agrupa os itens da última questão da seção anterior, sem possibilidade de 'misturas'.

Perguntamos então aos professores as prioridades com que são abordados os três campos, obedecendo ao mesmo código já estipulado, das prioridades em escala decrescente (*a*- prioridade alta, *b*- prioridade média, *c*- prioridade baixa, *d*- título não abordado). Os dados já lançados no início do capítulo, no *quadro-síntese* (número II), são repetidos a seguir.

SÍNTESE											
FÍSICA MATERIAL				FÍS/ONDULAT/				FÍS/MODERNA			
16	0	0	0	10	3	3	0	1	3	8	4

'O quadro é preocupante' e bastante assimétrico. Todas as escolas trabalham Física Material com alta prioridade, o que não constitui novidade alguma. Porém, para a Ondulatória, temos alta prioridade somente em 10 escolas, e baixa em 3 instituições.

O resultado mais grave é o de Física Moderna, a que apenas uma das escolas dedica alta prioridade como deveria ser. Das escolas que responderam o código 'c' ou 'd' para Física Moderna, verificamos que 9 delas não oferecem cursos posteriores, optativos ou obrigatórios sobre tais tópicos. Apenas duas oferecem optativos e uma obrigatório. Esta última integra o programa curricular de uma Escola de Engenharia Federal isolada; ela parece responder mais aos

requisitos atuais de conhecimento na área do que os departamentos de Física *universitários*, tradicionais centros de pesquisa.

O argumento que sempre destaca a 'falta de base' dos alunos, mesmo a falta de maturidade, é discutível. Eles jamais terão oportunidade regular de estudar novamente esses tópicos. São estudiosos, acostumados a enfrentar desafios, vencem ou 'pagam' disciplinas consideradas 'difíceis'. Não terão competência para estudos de Relatividade ou Quântica, mas terão, ou têm, para enfrentar a alta ênfase dedicada aos cursos de Mecânica Clássica? Ademais, esses alunos não merecem estudos de natureza conflitante, que apontam para a quebra do paradigma da Mecânica macroscópica determinista?

Em geral, os tópicos mais atuais constam das ementas do último curso oferecido (Física Geral IV), os docentes não os consideram dispensáveis. Claro que estão presentes também nos textos adotados ou indicados. De certa forma, não são cumpridos, em prejuízo da formação dos estudantes.

Uma média de 4 escolas prioriza os tópicos básicos introdutórios de Física Quântica, o que é bom, mas pouco. Não avançam até as noções atuais (que inclui 'equações de onda'), muito menos sua transferência para a Física do Estado Sólido e Nuclear, enquanto aplicações de interesse ao engenheirando.

Um conhecimento fundamental está ausente, portanto, desses cursos oferecidos para elites. Continuar a postergá-lo é dar maior chance ao atropelamento de que seremos todos vítimas em breve futuro.

Quanto a mudanças significativas de programas nos últimos anos, apenas uma instituição indicou positivamente. As demais continuam como há bastante tempo, talvez como há mais de duas décadas.

Dos textos adotados- 13 escolas assim procedem, as demais sugerem textos ou adotam apostilas, 8 permanecem com o de Halliday-Resnick, um 'clássico' desde os anos 60, que pouco mudou. Um texto mais recente (Física, Fundamentos e Aplicações, de Eisberg&Lerner, 4 vols. 1985), que incorpora resultados de pesquisa recentes- como a confirmação experimental de fótons, o estímulo a soluções numéricas com auxílio de calculadoras e computadores, e o registro de interpretações recentes como a troca de fótons virtuais por elétrons na eletrostática-, não é adotado por nenhuma escola, sequer indicado para consulta 14 .

O laboratório conta com o apoio das apostilas locais, dadas as vinculações com os equipamentos disponíveis, além das tendências dos cursos teóricos. Embora não muito destacado neste estudo, é certo que o laboratório se justifica pela *métrica* e pela confirmação das Teorias Clássicas. É o *paquímetro*, o *micrômetro*, o *voltímetro*, o *amperímetro*, o pêndulo simples, os circuitos -só os resistivos, desde que bem comportados, lineares...

A tradicional defasagem entre os requisitos de Física e os cursos de Cálculo em Matemática continua bastante presente, apesar de alguns esforços de integração.

Metodologicamente, a grande maioria dos cursos é tradicional, com aulas expositivas, listas de exercícios, quadro-negro, apontamentos.

A avaliação é também ainda bastante tradicional, coerente com os conteúdos e metodologia dos cursos. Uma média de três provas para cursos de Teoria e duas para as experimentais (aqui, inclui-se nota parcial de relatórios das experiências).

Duas questões que me parecem cruciais para indicar formas que possam sugerir mudanças nestas atividades serão finalmente discutidas.

A primeira revela as fronteiras rígidas deste ramo de ensino universitário. Perguntamos se as iniciativas para melhoria do ensino de Física, como simpósios, projetos do PADCT/CAPES, novas revistas e livros paradidáticos, interferem nos cursos, se chegam a provocar mudanças de metodologias e conteúdos. As respostas indicaram que interferem muito apenas em uma instituição, com pequena interferência em 9, interferência conforme o interesse dos alunos em 3 e nenhuma interferência em 3.

Isso me parece delicado. Tudo indica que os cursos básicos de Física detêm uma motricidade que, além de própria, é independente e refratária a iniciativas inovadoras ou transformadoras. Preocupa também constatar que os esforços de grupos ou de pessoas que promovem encontros, discussões, que publicam, têm baixa receptividade junto aos professores responsáveis pelos cursos, ou seja, seus pares, professores de Física, em geral não ousam trilhar novos caminhos propostos 15.

A segunda questão em destaque nessa parte final é a referente aos TEMAS de ensino. Perguntamos se estão presentes nos cursos regulares, optativos, ou nas 'semanas de engenharia'. Ao todo, oito escolas confirmaram essa tendência, o que é alvissareiro. Contudo, parece que tais iniciativas ocorrem mais paralelamente, *sem perturbar a regularidade dos cursos*, o que revela mais uma vez seus traços nítidos de estabilidade.

7.4 - REFLEXÃO E PROPOSIÇÃO

Uma discussão sobre os critérios que adotei para a formulação do questionário se faz necessária, sobretudo nos aspectos dos 'conteúdos' listados.

Usei títulos consagrados, pois deveriam ser bastante compreensíveis na ausência do entrevistador. Pelas cartas que acompanharam as respostas acredito ter cumprido satisfatoriamente este requisito. Podemos, até certo ponto, confirmar a sintonia entre as reflexões e buscas de quem perguntou com as compreensões e dados de quem respondeu.

Contudo, procurei não listar as ementas das seqüências dos textos, de maneira a não hierarquizar demais a evolução dos tópicos e itens. Implicitamente, tomei como base o texto de Allonso & Finn (1972), pouco adotado, embora respeitado e utilizado para consultas, dadas sua

orientação para a Física contemporânea e a utilização de matemática avançada. Em resumo, livro 'difícil'.

Das cinco questões, computamos um total de 36 itens, sendo 9 de Mecânica, 7 de Termodinâmica, 4 de Eletricidade. A esse conjunto denominamos *Física Material*, com subtotal de 20 itens. Na sequência, 6 itens de *Física Ondulatória*, que constituem esse agrupamento e 10 itens de *Física Moderna* que fecham esse conjunto.

Assim, propusemos 55% para Física Material (25% para Mecânica, 19% para Termodinâmica e 11% para Eletricidade). Ressalto que os prazos de ensino dedicados a cada item não foram evocados, mas somente a prioridade. Respeita-se é claro a elasticidade de se tratar itens mais longos em maiores prazos quando prioritários, bem como os mais curtos em prazos menores, igualmente prioritários.

Para Ondulatória, tivemos percentual de 21%, com seus 6 itens, incluídos os de 'Oscilações e Óptica Geométrica' que, essencialmente, não são exclusivos dessa área. O restante, com ponderação relativamente alta e justa de 29%, dedicamos à Física Moderna.

O alto percentual destinado a esse último assunto, comparativamente ao que normalmente se faz nos cursos, foi intencional. Não são neutros nem o questionário, nem seu autor. Pela mesma razão, destacamos a Ondulatória. Razão que continha implicitamente as hipóteses que nortearam a formulação do questionário.

Nesta tese, no entanto, prefiro deixar claras as hipóteses:

- presença marcante de Mecânica e de itens de Termodinâmica e Eletricidade, ou seja, nenhuma garantia de se buscar, muito menos conseguir, conquistas de compreensão teórica, bem como de aplicação de teorias, sobretudo nos dois últimos tópicos;
- pequena presença de conteúdos da ondulatória, sobretudo de ondas eletromagnéticas, ou seja, pouca prioridade à propagação de energia longe de fontes oscilantes, sejam de sistemas mecânicos, sejam principalmente de sistemas eletromagnéticos;
- ausência, ou traços de presença sem a necessária discussão, dos tópicos fundamentais que formam a base para formulação da Física Moderna.

Tais hipóteses são confirmadas no viés tecnológico, pela forte presença das indústrias de construção (ramo da *engenharia civil*) e mecânicas, no máximo das termo ou eletromecânicas, de origem no século passado.

No viés epistemológico, ainda é mantido um *forte componente paradigmático das teorias deterministas e das correntes empiristas, apesar das decantadas 'revoluções científicas'* do início de nosso século.

De certa maneira, já antecipamos que no seu ensino de ciclo básico universitário - não só para Engenharia -, pode-se ter como regra geral que o ensino de Física se preocupa com a *transmissão* do conhecimento em Física construído entre os séculos XVII e XIX. Embora não tenha investigado, fortes indicadores apontam para os mesmos resultados tanto em e em Biologia. Até

porque essas ciências foram introduzidas no país com maior defasagem (em relação às suas conquistas recentes) do que a Física.

Estranho é constatar que os professores das disciplinas em pauta são, cada vez mais, físicos de profissão, pesquisadores. Em maioria, já leram e refletiram sobre o questionamento da neutralidade dos 'fatos', sobre as bases de apoio do neo-empiricismo, sobre novas correntes epistemológicas, como o 'realismo' e o 'estruturalismo'. Contudo, não discutem em sala assuntos que possibilitam transições de percepção para novas estruturas de conhecimento com seus alunos.

Na formação do engenheiro, ao considerarmos a Física como ciência fundamental para sua cultura e profissão, detectamos um grande distanciamento entre o científico-epistemológico e o didático-pedagógico. A esse profissional não é dada plena chance de incorporar um novo espírito científico ao seu conhecimento. Assuntos hoje com larga aplicação tecnológica no país e no exterior não são priorizados em teoria. Poderão os alunos, mesmo os engenheiros, criticar, implementar e criar tecnologia, sem formação fundamental em áreas-chaves? Ou estaremos contribuindo para que eles apenas consigam absorver/manter tecnologias externas?

Voltando à formulação do questionário, podemos reagrupar certos itens de Mecânica (ao condensar 9 em apenas 3 - Estática, Cinemática e Dinâmica da partícula em translação sem exageros e sem excessos de formalismo, com extensão aos sólidos - rotação incluída- e também aos líquidos). Nessa direção, teremos um número menor de itens, total de 28. Os percentuais passariam então a 50% para Física Material, 20% para Ondulatória e 30% para Moderna. Esses índices são básicos para uma proposta que defendo para tais cursos.

O alto percentual destinado à Física Material se justifica, por incluir conceitos associados a princípios de conservação que se constituem em pilares da ciência Física, utilizados portanto em todo o seu escopo, para além da mecânica e dos demais tópicos que destacam a matéria, as partículas, os modelos atômicos, ou a escola '*temática*' (no sentido de Holton), democritiana.

Estamos restritos ao conteúdo das disciplinas, e insistimos que, mesmo mantidas por algum tempo as metodologias e técnicas de ensino tradicionais, é possível uma redistribuição. Isto porque é tamanha a persistência das aulas expositivas nestes cursos, que eventuais mudanças se implantarão a prazos pelo menos mediatos.

Mudanças de conteúdo podem ser contempladas e servirão para reforçar o questionamento das metodologias tradicionais. O motivo principal é que conteúdos renovados implicam maior discussão e participação dos alunos, mergulhados num universo tecnológico impregnado por este conhecimento. Tecnológico que será um parâmetro forte na sua profissão, com potencialidades e limites que devem ser encarados durante a formação.

Não defendo a manutenção das metodologias atuais, porém sua desequilibração, que poderá ser obtida também pela introdução da Física do século XX nestes cursos elitizados.

Em semestres letivos- na realidade quadrimestres-, teríamos os dois primeiros para prioridade em Mecânica, Termodinâmica e Eletromagnetismo, totalizando os cursos de Física I e II. No

seguinte, de Física III, prioridade para Ondulatória, em especial as Ondas Eletromagnéticas e a Óptica Física, seguida de um tratamento introdutório à Física Moderna, com a 'radiação do corpo negro' e evidências do comportamento corpuscular da luz nos efeitos *fotoelétricos* e *fotoquímico*. No último semestre, seria possível a discussão, com relativa profundidade e sem atropelos, dos demais itens sobre a dualidade, da relatividade restrita e da física quântica, com introdução ou noções de Física do Estado Sólido e Nuclear.

A proposta está condensada no quadro III a seguir.

QUADRO III - A PROPOSTA

ÁREA	PRIORIDADE/ CONCEITOS	TÓPICOS-TEORIA/LAB/.
MECÂNICA	<u>massa-energia</u> <u>campo</u> (macro)	CAMPO GRAVITACIONAL MOMENTO LINEAR e CONS/ MOMENTO ANGULAR e CONS ENERGIA E CONSERVAÇÃO RELATIVIDADE RESTRITA
TERMODINÂMICA	temperatura/ <u>energia</u> (micro/ macro)	FENÔMENOS TÉRMICOS PRIMEIRO PRINCÍPIO SEGUNDO PRINCÍPIO DISTR/ESTATÍSTICAS
ELETRICIDADE	<u>carga/campos</u> <u>energia</u> (micro/macro)	INTERAÇÃO CARGA/CAMPOS FENÔMENOS ELÉTRICOS INDUÇÃO DE CAMPOS

cont. pág. 186

ONDULATÓRIA

energia
(micro/macro)

ONDAS MECÂNICAS
FENS/ ONDULATÓRIOS
ONDAS ELETROMAGNÉTICAS
ÓPTICA FÍSICA

FÍSICA MODERNA

massa-energia
(hipermicro)

DUALIDADE ONDA PART/
TEORIAS QUÂNTICAS
INTR/ESTADO SÓLIDO
INTR/FÍSICA NUCLEAR

NOTAS; Parâmetros de construção da proposta: CONCEITOS UNIFICADORES, aliados aos CONCEITOS PRIMITIVOS

(ENERGIA, com alta prioridade; demais grandezas associadas a princípios de conservação ; CAMPOS, com prioridade média).

Tópicos denominados genericamente de 'FENÔMENOS' priorizam aplicações de interesse, exercícios, instrumentos.

Prioridade baixa para abordagens de 'ESTÁTICA', em mecânica, eletricidade, também para análise de eventos pelo conceito de FORÇA.

A lista dos tópicos propostos é composta por TEMAS (não propriamente no sentido de Holton, nem mesmo no sentido freiriano, porque temas que se destacam no universo recortado da ciência Física, que dá sentido e significado a esta ciência, usado por exemplo pelo projeto PLON), escolhidos para o ensino de Física neste nível, com sinalização para mudanças de paradigma , da Física Clássica para a Física Contemporânea, que contempla tanto a primeira como a segunda. Os temas estão comprometidos tanto com a ciência fundamental quanto com a aplicada, dado o foco em cursos para engenharia.

O segundo parâmetro, complementar, é definido pelos conceitos unificadores, com prioridades para as mudanças, as permanências ou invariâncias, energia em especial e escalas (consultar cap. 6, itens 6-1 e 6-2).

Ao conjunto de Temas, perseguimos a *unidade* da proposta, unidade que é *temática* das ciências físicas; ao conjunto de Conceitos Unificadores, perseguimos a *unidade estrutural*, que é *sistemática* das ciências físicas ¹⁶.

O sistemático, no sentido de cientificidade, potencializa a unidade *orgânica* do conhecimento. O temático embora necessário não é suficiente, porque poderá ser abordado didaticamente com traços fortes de fragmentação, idiossincrasia e polissemia. Se o temático está presente no

ontológico, tanto no senso comum como no científico, o sistemático por definição está mais localizado no científico/epistemológico.

Assim, *as unidades temática e estrutural*, além de potencializarem a apreensão do conhecimento em Física, poderão servir para transferências de saber em outras áreas, das ciências co-irmãs do ciclo básico e outras do profissionalizante.

7.5 - TEXTOS UTILIZADOS E A PROPOSIÇÃO

Uma outra questão a enfrentar é a compatibilização entre os conteúdos consagrados dos livros-textos e os essenciais desta proposta.

Para responder tratarei de diferenciar, em primeiro lugar, um curso de formação de um livro-texto. Não são a mesma coisa! Tal 'obviedade' não assim parece à maioria dos professores em sua prática. Se teoricamente a distinção parece consensual, nas ações educativas constata-se certa confusão em todos os graus e níveis de ensino.

Relativamente aos cursos de Física, consideremos o que diz um dos autores do livro mais adotado (Halliday & Resnick):

"Em um sentido, um texto é mais do que um curso porque contém inevitavelmente mais itens ou conteúdo do que pode ser ou será considerado. Em outro sentido, contudo, o curso é muito, muito mais do que o livro texto".
(Resnick, 1989)

O autor reflete sobre o ensino de Física, pondera sua publicação mais conhecida, reconhece a distinção claramente, entre texto e curso. Porém, deveria discutir a confusão a que nos referimos; a influência de seu texto enquanto 'cartilha', mas não o faz.

Entretanto, Resnick endossa atualmente a campanha em favor do '*menos é mais*' ('less is more'), critica o excesso de exercícios propostos e defende uma reformulação apoiada em 'descobrir a Física, ao invés de cobri-la'. Reconhece os tempos de transição que passamos e apóia a pluralidade dos esforços de renovação, apostando na seletividade dos professores, que filtrarão o que é bom e importante.

Estou com esta proposta reforçado por Resnick, dentro da pluralidade dos esforços, das reduções e cortes do exagero, da prioridade nos conceitos mais fortes. Infelizmente, todos lêem os textos de Resnick, poucos lêem o artigo que aqui destaco.

Os tempos de transição enfrentados pelos professores americanos e de outros países avançados ainda não atingiram nossas escolas de terceiro grau. Infelizmente, continuamos defasados, com a estabilidade dos cursos de Física Básica pouco questionada.

Estou propondo ‘*menos*’ conteúdo, fundamentado nos temas de ensino (da própria Física), sua vinculação à tecnologia e seu direcionamento pela via dos conceitos unificadores. Esta redução é o custo para se atingir o ‘*mais*’, na busca e enfrentamento da densidade dos processos de generalização que os mínimos da proposta contêm e podem desdobrar na sala de aula. Não escrevo mais um texto, escrevo para acelerar a transição, a mudança do paradigma no ensino de Física. Escrevo pensando mais nos cursos do que nos textos, porque ao contribuir para que os primeiros sejam redefinidos, os segundos serão conseqüentemente ampliados, reformulados e transformados. Novas leituras demandarão novos textos, isto se os atuais não forem suficientes, porque, como já discutimos, cursos não se restringem a textos.

Passemos aos livros antigos. O conflito entre a ‘*matéria*’- na possibilidade efetiva de ser destronada- e a ‘*energia*’ não é tão recente. No século passado, Kirchoff considerou tal possibilidade em seu clássico ‘*A text-book of Mechanics*’, embora não o tenha feito. Ao final do século passado Hertz retomou o problema na introdução do seu ‘*Principles of Mechanics*’ (Hertz, 1894). Por razões que classifica como não apropriadas para a época, Hertz não priorizou o conceito de energia, embora tenha considerado seriamente sua adequação para o futuro ¹⁷.

Hertz abandonou a prioridade para *energia*, mas também o fez para com a *força*, optando por ficar com as três grandezas mecânicas primitivas e com a ênfase na Cinemática. Um avanço para a época. Ele afirma:

"Tanto quanto sei, não existe livro de mecânica que, de início, ensine o assunto a partir de energia e introduza esta idéia anteriormente à de força"
(Hertz, 1894: 27, tradução minha)

Estava na posição correta. Esta possibilidade só se efetivou na década de 60, com o lançamento de um livro de características revolucionárias, também muito pouco adotado, mas bastante consultado (Feymann, 1972).

Não chegamos a propor a inversão admitida teoricamente por Hertz. Destacamos também ‘*o momentum linear e sua conservação*’, que pode classicamente encampar a análise de forças, mas pode também ser utilizado na Relatividade, isento das restrições impostas ao conceito de força. Ademais, ao considerarmos a chamada integração vertical dos currículos, sabemos que os engenheirandos já estão acostumados, desde o segundo grau, a tratar o universo da mecânica mediante as leis de Newton e o farão com muito maior profundidade nos cursos de Mecânica Geral. Como já discutido no início deste capítulo, proponho que evitemos a repetição sistemática que leva ao cansaço, ao desinteresse e mesmo ao repúdio que muitos alunos manifestam ao longo de sua participação nestes cursos obrigatórios!

Instituições estrangeiras vêm cancelando tópicos em suas reformulações, com simultânea redução drástica do tempo destinado às listas de exercícios. Por exemplo, no ‘*Reensllear*

Polytechnic Institute of Troy' - New York, USA , onde leciona Resnick, os professores decidiram não abordar Termodinâmica, nem Fluidos, dentre outros tópicos, para atingir metas de aprofundamento, coerência e prioridade à Física Contemporânea. Tudo isto para três semestres de curso, com alunos que não passaram por muitos estudos anteriores em Física. Outras disciplinas profissionalizantes logicamente cobrirão os tópicos básicos preteridos (Resnick, 1989).

No Brasil, onde temos alguns textos 'nacionais' elaborados, já que a ampla maioria é traduzida, o professor Pierre Lucie deixou-nos uma contribuição de fôlego pautada pela originalidade. Ele optou por não incluir '*os costumeiros Elementos de Relatividade e Introdução à Física Moderna*'. Justifica tal decisão por buscar '*uma sólida cultura geral em Física Clássica*', alertando para a impossibilidade de se

"discutir com algum proveito os conceitos altamente abstratos da Física Relativista e Quântica sem antes se ter uma compreensão profunda, tanto em nível conceitual como operacional, da Física Clássica."

(Lucie, 1979: 20)

Defende também a formação geral dos estudantes de C&T como prioritária à especialização exacerbada, coerente com sua formação original, francesa. Embora concordemos com esta última posição, não apoiamos aquela que exclui o conhecimento em Física Contemporânea. Ademais, os 'costumeiros elementos...' estão presentes nos textos, porém ausentes nos cursos.

Se os estudantes de Engenharia não tiverem algum contato com os conceitos e leis da Física Contemporânea que limitam os da Clássica solidamente discutidos em seus cursos de Física ao final do ciclo básico, jamais o terão. No aspecto competência, somente os professores de Física poderão encontrar meios criativos para que esta introdução não resulte em confusão mental, muito menos aponte para especializações antecipadas e exacerbadas. É bom também ressaltar que, muito do que está no texto do professor Lucie, também está nos textos de Mecânica Geral e de Termodinâmica, dos cursos de engenharia, sob responsabilidade de engenheiros, não físicos¹⁸.

A originalidade dos livros de Lucie está na metodologia proposta e na historicidade utilizada, nas questões conceituais e nos exemplos a discutir. Seus conteúdos são excessivos, talvez mais ainda que nos textos adotados habitualmente. Infelizmente, sua publicação não é citada pelos professores que consultamos, mesmo como texto auxiliar.

Finalmente, uma forte razão que reforça as idéias de unidade, de maneira a reduzir os compartimentos em Física, é aquela da efetiva prática docente dos engenheirandos e engenheiros em cursos de Física. Isto acontece muito, embora nunca considerado. As vagas para os cursos de Física de segundo grau nunca foram preenchidas por Licenciados em Física; tal possibilidade ainda não se vislumbra, nem hoje, nem no futuro mediato. Há uma redução drástica de matrículas em cursos de Física, em todo o país, que em curto prazo não será superada¹⁹.

Muitos professores de Física no segundo grau, nas escolas técnicas, mesmo em 'cursinhos' e no ciclo básico universitário, são engenheirandos, ou formados nesta área. Não queremos discutir a legalidade ou apropriação desta ocorrência, mas sim considerá-la. Devemos contar com este perfil quando concebemos o professor de Física, com ele caminharemos para as superações desejadas.

Em plena atividade docente, que tipo de Física podem lecionar estes professores? Só aquela que aprenderam, cheia de '*formulismos*' ! ²⁰

Além do que se estabelece como importante, daquilo que é cobrado nos vestibulares, do que é consensual, o que eles avançam? Afirmamos que nada, ou quase nada!

Para se libertarem deste 'consenso' que vincula o trabalho destes professores aos **grilhões** dos livros didáticos e apostilas, eles precisam de uma formação que lhes possibilite uma **visão** orgânica e estrutural da Física, incluída a Moderna. Do contrário, ficarão na mesma, cristalizando o que desejamos dissolver, remover e transformar.

São esses cursos básicos de Física que apontarão para a criatividade, a crítica, o **desembaraço** científico tão cobrado dos engenheiros. Lembramos que outra deficiência desta **carreira** é a exclusão de cursos que valorizam a História e a Filosofia da Ciência.

Como qualquer proposição desse teor sempre esbarra nos limites impostos ao currículo, muito extenso e recheado de disciplinas distintas e fragmentárias, os cursos básicos de Física são os mais adequados para uma introdução, um desafio ao refletir epistêmico. Também por este motivo, alterar e redistribuir tópicos é prioritário e urgente.

Outras carreiras de bacharelado e/ou licenciatura em Matemática, Química e Geociências podem também ser contempladas nesta perspectiva mais unitária, com tópicos de Física fundamental e outros que são mais voltados para o interesse de suas especialidades. Por exemplo, a Geofísica para os cursos de Geociências, aspectos de formação do planeta, métodos de datação e sismicidade.

Os cursos de formação de Físicos não podem ser os mesmos que os de outras **carreiras**. Não defendemos a baliza pela Engenharia, que de fato ocorre na maioria das escolas. Porém, a prioridade temática e conceitual, via supradisciplinaridade, nos parece também um rumo a ser tomado. É vergonhoso para nós, docentes do terceiro grau, não amadurecermos novos conceitos de Física Contemporânea nas aulas da carreira de licenciatura. Ficamos nos desculpando com os alunos curiosos que lêem revistas atuais, que assistem programas de TV com conteúdos recentes e possibilidades novas da fronteira do conhecimento. Claro que nossa formação **deve** incluir prioridade em aspectos de História e Filosofia da Ciência, não somente no último semestre. Para a formação de professores de Física o *processo-produto* deve ser presente em todas as disciplinas, desde o primeiro semestre!

Anexamos no apêndice 3 o programa curricular do curso de Engenharia Mecânica da UFSC, reconhecido como de ponta pelos pares. Ao consultarmos as disciplinas notamos, sem maior esforço, as duplicidades aqui comentadas e a lacuna de cursos com prioridade à Física Moderna.

O que poderia ser instigante já na graduação, é postergado. Mesmo na Pós-Graduação ainda não é habitual o oferecimento de disciplinas de conteúdo de Física gerado no século XX!

De tudo o que analisamos, discutimos e propomos neste último capítulo, a questão mais oportuna, diretamente colocada aos professores de Física de terceiro grau, de natureza estratégica para os caminhos da C&T brasileira, é: *Devem os engenheiros participar da criação e transformação de C&T, ou tão-somente preservar, manter e transmitir os seus produtos?*

NOTAS E REFERÊNCIAS VII

- 1.- Consultar originais de Newton e Huygens citados na nota 2 cap.2 deste trabalho.
- 2.- Ver, sobre Faraday e Maxwell e as origens da eletricidade, desde a 'paixão pela eletricidade e pelos choques': Bernal, J. 'Ciência na História', vol. 3, Lisboa, Horizonte, 1976, pp. 615/630. Ver também, na perspectiva mais internalista, Holton, G.(citado na nota 20 do cap. 2) cap. 26. Uma referência clássica para esse campo é Whittaker, E. T: 'A History of the Theories of Aether and Electricity'; New York, Humanities Press, 1961. Consultar em especial o vol.1, caps.VI, X e XIII.
- 3.- Bohr é o decano da 'Escola de Copenhague'. Consultar Bohr, N. 'Sobre a Constituição dos Átomos e das Moléculas', Lisboa, Gulbenkian, 1969.
- 4.- Sobre Prigogine, ver o cap. 2, item 2.5 .
- 5.- As idéias básicas dos três autores e as concordâncias/discordâncias de uns com os outros podem ser encontradas em Weber, R. 'Diálogos entre Cientistas e Sábios', S.Paulo, Cultrix, 1986.
- 6.- Ver Lorenz, K: 'Os livros didáticos e o ensino de ciências na escola secundária brasileira no século XIX' in: *Ciência e Cultura*, 38 (3), pp. 426/435. Sobre a situação atual do ensino de segundo grau na escola pública, consultar Kuenzer, A.: 'Ensino de segundo grau- O trabalho como princípio educativo.' S.Paulo, Cortez, 1988.
- 7.- Frigotto, G.: 'Trabalho - Educação e Tecnologia: Treinamento polivalente ou formação politécnica?', in '*Educação e Realidade*', P. Alegre, 14 (01), jan/jul.1989.
- 8.- Consultar Angotti, J.A. e Delizoicov, D. 'Metodologia do Ensino de Ciências', SPaulo, Cortez, 1990. Ver também, dos autores, 'Física', S.Paulo, Cortez, 1991.
- 9.- Sobre o conceito de Entropia, consultar Clausius estudado por Aurani, K: 'Ensino de conceitos: Estudo das origens da segunda lei da termodinâmica e do conceito de entropia, a partir do século XVIII', S.Paulo, IFUSP, 1987. Ver também Prigogine&Stengers: 'A nova aliança', Brasília, UNB, 1986. Para a interpretação probabilística do conceito em nível avançado, consultar o cap. 4 de Reif, F: 'Statistical and Thermal Physics', Tokyo McGraw-Hill, 1965.
- 10.- Sobre os trabalhos de Einstein e Debye, consultar o excelente texto de Tomonaga, S.I: 'Quantum Mechanics', vol.1, Amsterdam, North-Holland, 1968.
- 11.- Essa interpretação é acessível. Ela está por exemplo no texto de Eisberg&Lerner: 'Física; Fundamentos e Aplicações' S.Paulo, McGraw-Hill, 1983, 4 vols. Este livro, que contém várias inovações frente aos outros textos traduzidos ou produzidos no país, não é recomendado para consulta, muito menos adotado por nenhuma das escolas que responderam ao questionário.
- 12.- Decisão tendenciosa (criticada, com razão, pelo professor de Física que respondeu nosso questionário) que retira dos cursos básicos de Física um tópico singular e rico, uma vez que os movimentos oscilatórios não são conservativos nas grandezas cinemáticas (como o são os movimentos retilíneos uniformes, do tipo MRU e MRUV, e também o circular uniforme-MCU), não sendo constante também a força, função harmônica do espaço e do tempo, ou do tipo *restaurador*.

13.- Sobre a relação entre 'Ondulatória' e 'Equações diferenciais ordinárias de 2º grau', consultar, por exemplo, a ref. da nota 11.

14.- Consultar, igualmente, a ref. da nota 11.

15.- Simpósios Nacionais de Ensino de Física, sob o patrocínio da Sociedade Brasileira de Física, são realizados em capitais, desde 1970. Neste ano, em janeiro, foi realizado o IX, em São Carlos-SP. Existem também Simpósios e Encontros Regionais de Ensino de Física. Publicações como a 'Revista de Ensino de Física' e o 'Caderno Catarinense de Ensino de Física' são tradicionais na área. Desde 70, dois cursos de Mestrado em Ensino de Física estão em funcionamento, tendo formado, até hoje, cerca de uma centena de mestres. A área conta também com uma vintena de doutores, dentre os formados no país e no exterior. Toda esta atividade indica uma certa produção na direção da mudança e da melhoria do ensino de Física, que esperamos seja cada vez mais ampliada.

16.-Semelhante abordagem voltada para outro nível de escolarização pode ser consultada em: 'Dekker, J. A. et alii (1986) 'Pre-university physics presented in a thematic and systematic way-Experiences with a Dutch physics curriculum development project' in *European Journal of Science Education*, 8 (2), pp. 145/53.

17.-Ver Hertz, H: 'Principles of Mechanics', Leipzig, 1894. Neste livro o autor faz referências a Kirchoff ao discutir, na introdução, as possíveis abordagens para o estudo da mecânica.

18.- São exemplos de textos clássicos para estas disciplinas do curso de engenharia: Beer&Johnston: 'Mecânica', S.Paulo, McGraw-Hill, 1980 e Johnson, T. N: 'Termodinâmica', S.Paulo, ed/autor, 1971.

19.- Consultar João Zanetic, J: 'Física também é cultura'- Tese de Doutorado-, S.Paulo, FEUSP, 1990. Ele comenta o excessivo valor ao formal (das fórmulas, sem interpretação conceitual) como um 'cacoete' dos textos e dos professores de Física; o formalismo neste caso se revela mais como um '*formulismo*'.

20.- Os dados mais atuais (cada vez mais preocupantes) sobre os cursos de Licenciatura em Física mostram que o curso é oferecido por 77 instituições, sendo 66% em universidades e somente 34% em outras IES, números que não acompanham a tendência geral dos cursos superiores. O número médio de formados/ano é de 05 nas universidades e 15 nas demais IES. Existe grande heterogeneidade na formação acadêmica e muitos docentes das licenciaturas não têm formação em Física. Dados retirados das Atas do III EPEF, levantamento feito por Menezes et alii - IFUSP/S.PAULO, pp. 68/70.

CONCLUSÕES

Transformações e Regularidades são componentes primevos e universais do pensamento e da formação do pensamento. Com a Ciência, estes componentes adquiriram enorme força conceitual e prática não só nos princípios de conservação e nas leis de variação da Física. Efetivamente a vida contemporânea, com a vertiginosa capacidade de intervenção natural do ser humano, é impensável sem esta sistematização '*científico-tecnológica*' das regularidades e das transformações, *o instrumental mesmo da intervenção*.

A aceção de Cultura como cultura humanística tende a manter, mesmo na Educação, os assuntos de Ciência e Tecnologia como 'coisas de especialistas' e caracterizar as disciplinas 'de Ciências' sempre como algo propedêutico e não como instrumentos universais. Mesmo conceitos unificadores de segunda ordem como *Escalas e Energia*, que permeiam todas as áreas do conhecimento e são essenciais para o conhecimento prático, servindo como agregantes supradisciplinares de inúmeras regularidades nas transformações, são tratados episodicamente em cada área. Desta forma, sempre despidos de sua essencial universalidade. São vícios como este que barram a efetiva inserção da Ciência e da Tecnologia em nossa Cultura.

O que proponho é formas de trazer o conhecimento básico e crítico das CN para a prática cultural do brasileiro escolarizado. Também para isto, há que se buscar o tratamento da tensão entre *fragmentos e totalidades* que compõem o 'real', que está presente na pesquisa em CN e que se propaga no seu ensino pela *pulverização* do saber.

Formulada a questão, é buscado o diálogo com pedagogos e epistemólogos, ou mais especialmente com professores de CN, na perspectiva de formular procedimentos e estruturas abertas e dinâmicas para as metas educacionais preconizadas.

A chamada '*abordagem temática*' é escolhida por sua adequação aos nossos propósitos pedagógico-conceituais, de forma que os 'conteúdos' (sobre ou com os quais se pretende privilegiar os conceitos unificadores) são determinados por levantamento no qual são relevantes as contingências sócio-culturais locais ou regionais. O recorte do pluralismo imanente aos Temas é fornecido pela sistematização do conhecimento em C&T.

As transformações, as regularidades, a energia e as escalas são instrumentos para a 'costura' ou 'comunicação interconceitual' que o educando individualmente processa entre os distintos conteúdos e temas trabalhados, na maioria das vezes conflitivos com os saberes do senso comum que ele pré-concebe.

Distintos graus de escolaridade, diferentes níveis de aprofundamento e heranças de exagerada compartimentação são algumas das contingências que o educador deve considerar para dar conseqüência a um questionamento como o que se faz aqui. Deve considerar e se alinhar com

os grupos que já vêm assumindo as conquistas das transformações possíveis e simultaneamente projetando e estabelecendo condições para as transformações ainda não possíveis hoje. O espaço de intervenção/reflexão é complexo, o par *reprodução-resistência* está sempre presente; o componente *reprodução* muitas vezes parece persistir mas não é assim tão monolítico.

Tudo o que foi escrito aqui ressoa com a formação e a prática dos professores de CN e de Física. Pretende-se colaborar para mudá-las, seja nas licenciaturas universitárias, seja no exercício da profissão. Não se pretende a unificação dos cursos e do pensar o ensino de CN; a proposta é lançada como uma das possibilidades no enfrentamento das ações educativas, sempre mantendo sua mesa principal, aquela que não abre mão do conhecimento em C&T culturalmente inserido e comprometido com sua época.

Há muito que fazer na escolha dos temas de significado e na sistematização dos conhecimentos parametrizados pelos quatro- ou mais, se necessário- conceitos supradisciplinares. Aqueles educadores de CN que se dispuserem a aderir às nossas proposições estarão simultaneamente se autoconvocando para selecionar materiais e elaborar outros, propor seqüências programáticas e viabilizá-las e colaborar para que tanto eles como seus pares se libertem das amarras dos livros-textos.

Uma reflexão final que desejamos lançar aos docentes de CN, aos educadores em geral e àqueles brasileiros que praticam exemplarmente a 'ciência dos cientistas' é a constatação de que a Ciência e a Educação Escolar são empreendimentos socialmente *fortes* no país. Isto significa que a Ciência aliada à Tecnologia, embora sejam conhecimento restrito a poucos, são relevantes e intensas. De seu lado, a Educação escolar, historicamente elitizada e só recentemente conquistada- pelo menos nas séries iniciais- pela maioria da população, consiste num dos eixos sociais de intervenção prioritários para efetivas mudanças. O reconhecimento de que são *fortes* não implica reconhecer sua direção como boa em termos de projetos políticos em C&T e em educação. São *fortes* na complementaridade dos aspectos da tensão analisada ao longo de nossa tese:

- Ciência e Tecnologia apartadas da cultura e fortes na profundidade, com resultados e processos que devem ser avaliados mediante a relação benefício/prejuízo na sociedade. São essencialmente fragmentárias e, como consequência, colaboram para o avanço do conhecimento em profundidade.
- Educação escolar confusa e difusa, com resultados pobres justamente no seu aspecto mais necessário, o de socializar a cultura elaborada, porém forte porque extensa - pelo menos no primeiro grau -, na direção extensiva e totalizante dos espaços sociais.

Em contrapartida, concluímos do que foi tratado aqui que tanto a Epistemologia como a Pedagogia (pelo menos a relacionada com o ensino de CN) , enquanto *áreas observadoras da Ciência e da educação escolar*, são empreendimentos *fracos* entre nós.

São *fracos* porque desconhecidos até por docentes de segundo e terceiro graus, cristalizando uma situação que gera e mantém consensos falsos, dada a ausência da crítica- ou da falta de ênfase nos *processos* além dos *produtos*- e a negligência do debate que é travado nos campos da episteme e da pedagogia. Como consequência, somente as linhas mais tradicionais que acompanham a dimensão *forte* da Ciência e da Educação são admitidas e divulgadas, de maneira a reforçar o consenso. Por exemplo, a concepção grosseiramente baconiana que embala a Ciência e as concepções tradicional e 'moderna' - do tipo escola-novismo e ciência integrada - que embalam a educação escolar são fortes, porque sozinhas ou com o mínimo de concorrência.

O esforço em que me empenho como educador de CN se concentra em colaborar para que novas contribuições aos dois últimos campos possam reduzir sua fragilidade. Dadas as mazelas da escola pública brasileira, pode parecer 'abuso de refinamento' as 'considerações epistemológicas e pedagógicas' contemporâneas do debate conceitual em que me debruçei.

As questões conjunturais e as estruturais, contudo, se imbricam na crise. Há que se lidar com ambas.

Na educação em CN convivemos com 'fatos' e versões diversos. Os fatos revelados pelos diagnósticos da situação atual do Ensino de CN não podem ser interpretados/vertidos segundo o critério e o julgamento maniqueísta que, no primeiro e segundo graus, julgam a qualidade *baixa* para a escola pública e *alta* para a escola particular. Simplesmente ambas são baixas e o engodo é maior justamente na esfera das escolas privadas porque seus adeptos passam a idéia de qualidade alta, ocupam a mídia o tempo todo e conseguem manter a discussão sobre educação no país sempre anexada ao preço das mensalidades e dos reajustes. Das notícias sobre educação que somos obrigados a ver diariamente, podemos quase concluir que os milhões que freqüentam a escola pública *não estão na escola, não participam do processo educacional*.

Considerada a assimetria que ocorre no terceiro grau de escolaridade brasileira, que 'de fato' atribui a qualidade *alta* justamente à escola pública, não podemos nos encastelar e nos manter satisfeitos com esta constatação. A qualidade corre perigo e está cada vez mais 'defasada'. O discurso saudosista tão freqüente também não aponta soluções.

Os dados que discuti no capítulo 7 confirmam as afirmações acima. São 'fatos' que podem ser contestados, podem mesmo ser considerados 'artefatos' dada a sua base empírica. De qualquer forma, eles não desmentem as afirmações se quisermos argumentar pelo critério racionalista.

Com esses dados e com a construção teórica dos capítulos anteriores, insisto que: o conhecimento em Física é obstruído no primeiro grau de escolaridade, pois desconhecido mesmo na sua superfície, muito mais em sua essência, pelos professores deste nível. O que é feito a duras penas por alguns professores na oitava série do primeiro grau não é ensino de Física, mas caricatura. Podemos e devemos abrir mão desses arremedos.

O primeiro grau de escolarização é um campo aberto para a busca e conquista de novos caminhos, via alfabetização em Física e em CN, com projetos e iniciativas de formação de

docentes em exercício. Já entrevistamos neste espaço, com publicação e prática de projetos. Tanto o livro 'Metodologia de Ensino de Ciências', como a formação no projeto do RN (consultar nota 1 do cap. 3 e apêndice 1 - parte A) são esforços nessa direção.

O conhecimento em Física a nível de segundo grau é velho e de pouco interesse, precoce em pretensos formalismos.

No início da década de 60, os professores-pesquisadores Jaime Tiomo e José Leite Lopes traduziram para o português o interessante livro de Blackwood (1962), que não se esconde atrás de formuletas. Os tradutores, que já na época eram físicos brasileiros reconhecidos, ressaltam não ser necessário o domínio formal neste nível (Blackwood, 1962, Introdução da edição em português). Tais afirmações caíram no esquecimento, sobretudo depois da pressão dos vestibulares, do 'ensino' promovido nos 'cursinhos' e mesmo da era dos projetos da década de 70. Hoje ainda verificamos a boa abordagem daquele texto que pode ser muito útil para novas proposições, como o estudo pelas relações que os conceitos unificadores possibilitam. O livro que produzimos para o professor de Física do segundo grau (Delizoicov & Angotti, 1991) está estruturado mediante ótica não incompatível com a do livro em discussão; nossa publicação não dá margem a exageros formais e se apresenta com ênfase no conceitual e nos processos naturais, tanto 'puros' como tecnológicos. O programa que sugerimos nesse livro está no apêndice 1 - parte B, acompanhado de uma de suas unidades de ensino, que serve como exemplo.

Quanto ao terceiro grau, as discussões apoiadas nos dados obtidos do questionário (analisado no cap. 7, item 7.3) confirmam a prática de se perpetuar o 'velho', ainda que este velho seja fundamental e necessário para a formação dos estudantes. O problema é a exclusão do *novo* conhecimento, tanto em conteúdo como em forma/metodologia.

Uma abordagem temática e unitária do ponto de vista conceitual pode ser atingida. Exercitei em um trabalho de final de curso de Pós-Graduação priorizando conhecimento da Física Ondulatória - Ondas Eletromagnéticas -, contemplado pelos modelos clássico e moderno. Cópia desse trabalho está anexado no apêndice 4.

Os apêndices indicam possibilidades e intervenções possíveis nos diferentes graus e níveis de ensino de Física e de CN, na perspectiva de 'ciência enquanto cultura'.

Empresto da contribuição de Khun o conceito de *paradigma*, mais precisamente o de 'paradigma de construção', para comentar mais uma vez essa situação que persiste no terceiro grau. No pedagógico de Física domina um único paradigma, aquele que cristaliza a Física Clássica. Mais pontualmente, que reforça compartimentos da Física Clássica, transmitidos de maneira a não facilitar, ao final dos estudos, reelaboração e reconstrução estrutural do conhecimento em Física adquirido nas disciplinas do ciclo básico. Ademais, ele obstrui 'outras físicas'. Tal paradigma já deixou de 'reinar absolutamente' há tempos na investigação e na prática de C&T. Curiosamente, ele ainda é praticado por aqueles que, na profissão, dominam também novos paradigmas da pesquisa, como a maioria dos professores de Física dos cursos universitários.

Quero dizer que, mesmo nós, educadores que se pretendem críticos, quando docentes dos cursos e níveis aqui contemplados, não conseguimos nos libertar dos limites constrangedores do paradigma escolar do ensino de Física. Tentamos, ao discutir conquistas mais recentes do conhecimento, ao indicar artigos, demonstrações, mas ao fim e ao cabo permanecemos durante a grande parte dos cursos usando os textos aqui criticados, listando exercícios, aplicando provas e, fundamentalmente, priorizando os assuntos do paradigma escolar. Efetivamente, é muita contradição!

Enfrentar teoricamente e na ação concreta essa contradição e superá-la é um grande desafio. Desafio que aponta para a ruptura e o desequilíbrio, para o 'novo que sempre assusta', mas que não pode mais ser adiado.

As questões que propusemos no início do capítulo 7, decorrentes do conflito entre Física Material e Ondulatória, Clássica e Moderna, Equilíbrio e Desequilíbrio, não são consideradas em sua plenitude mesmo no terceiro grau. Outras questões relevantes também não o são.

O paradigma dirige as ações para o componente material, o clássico e o do equilíbrio, quase na aurora do terceiro milênio.

A opção temática, aliada à utilização dos conceitos unificadores, consiste em alternativa para formulação de programas mais estruturados, mais coerentes com o que a Ciência e a Tecnologia fizeram, fazem e provavelmente farão. Queremos as *totalizações*, as unidades, negando o excesso de fragmentação, em conformidade com o que hoje se tenta em CN, pela busca da *interdisciplinaridade* e pela *complexidade*. Uma opção com essa característica contemplando também os escopos de Química e de Biologia seria, a meu ver, desejável, principalmente no primeiro e no segundo grau.

Nos primeiros níveis de ensino, ao escolhermos conceitos que transcendem o conhecimento em Física, deixamos aberta essa possibilidade, com semelhante preocupação para com os conhecimentos das ciências co-irmãs da Física. Com a palavra os professores e pesquisadores dessas ciências, principalmente aqueles que detectam e se preocupam com as atomizações do saber ensinado-aprendido e com as defasagens também características do ensino de suas especialidades.

Um conhecimento agrupado (das 'Ciências') no primeiro grau, com disciplinas separadas e demarcadas no segundo, maior densidade, aprofundamento e estruturação no ciclo básico do terceiro, é o que estamos propondo.

Um conhecimento oxigenado, flexível e comprometido com a cultura elaborada a ser socializada aos brasileiros escolarizados.

O pedagógico sempre esteve, está e sempre estará cercado por condicionamentos fortes oriundos dos mais diversos interesses; simultaneamente sempre teve, tem e continuará tendo, cada vez mais, possibilidades de avançar na teoria e na prática. Como a cultura não está fora de alcance, defendemos que na sociedade brasileira o terreno pedagógico é o mais indicado para

criar e concretizar os caminhos para a conquista da *cultura elaborada*. Cultura que é também *científica e tecnológica*.

Não se pode sustentar hoje os valores da corrente *nominalista* da Idade Média. Naquela época fazia bastante sentido aos eruditos afirmar que

'stat rosa pristina nomine, nomina nuda tenemus.'
(Humberto Eco).

O *nome* da rosa é o que fica, ou o que ficava para os adeptos daquela corrente filosófica. A 'rosa' simboliza o conhecimento da época, literalmente armazenado na biblioteca do mosteiro. Parte dele, no interesse dos 'iniciados da situação', era acessível aos estudiosos; outra parte, considerada perigosa ou obscena, era proibida e inacessível, de modo que uma das salas da biblioteca nunca podia ser visitada. 'Mutatis mutantis', um paralelo que me inclino a fazer com a criação literária de Eco e propor aos educadores de CN é que *'o conceito fica'*. Principalmente, para a estruturação do conhecimento científico e tecnológico, os *'conceitos unificadores'* têm ficado e têm se constituído em âncoras que sustentam esse conhecimento.

No terreno pedagógico do conhecimento em C&T, em especial em Física, algumas obstruções vêm ocorrendo, algumas de suas *salas* continuam fechadas, à semelhança daquela 'uma' da biblioteca medieval. Paralelamente, o conhecimento acessível é oferecido em 'pequenos pacotes ou livrinhos', de maneira consciente ou não a dificultar ao leitor/estudioso a conexão entre os saberes dos pacotes ou livrinhos. Os fragmentos são excessivamente prestigiados, as totalidades prejudicadas.

Por que não colaborar para que *todas* as portas sejam abertas e continuem acessíveis?

Por que não estimular os estudantes, durante a construção de suas estruturas de conhecimento, a costurar mentalmente os 'conteúdos', via conceitos unificadores?

BIBLIOGRAFIA

- ADORNO T. & HORKHEIMER, M. "Dialética do Esclarecimento". In: *Textos Escolhidos*; col. 'Os Pensadores', S.Paulo, Abril, 1983.
- ALLONSO, M. & FINN, O. *Física, um Curso Universitário*. S.Paulo, McGraw-Hill, 1983 (2 vols.).
- ALVARENGA, B. & MÁXIMO A. *Física*. Harbra, S.Paulo, 1980 (3 vols.).
- ALVES, R. *Filosofia da Ciência*. S.Paulo, Brasiliense, 1982.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. "Science for All Americans- Project 2061". Washington, 1988.
- ANDERSON, S. & BAZIN, M. *Ciência e (In)dependência*. Lisboa, Horizonte, 1972 (2 vols.).
- ANGOTTI, J.A. *Solução Alternativa para a Formação de Professores de Ciências*. Dissertação de Mestrado, S.Paulo, IFUSP/FEUSP, 1982.
- _____. & Delizoicov, D. *Metodologia do Ensino de Ciências*. S.Paulo, Cortez, 1990.
- _____. *Física*. S.Paulo, Cortez, 1990.
- _____. et alii. "Pesquisa em Ensino de Ciências - Uma Posição: Interdisciplinaridade, Totalidades e Rupturas". In: *Atas do III Encontro de Pesquisa em Ensino de Física - EPEF*, Porto Alegre, UFRGS, 1990.
- APPLE, M. *Ideologia e Currículo*. S.Paulo, Brasiliense, 1982.
- _____. *Educação e Poder*. Porto Alegre, Artes Médicas, 1989.
- ASHTON, T.S. *A Revolução Industrial*. Mem Martins- Portugal, Europa-América, 1977.
- AURANI, K.M. *Ensino de Conceitos: Estudo das Origens da Segunda Lei da Termodinâmica e do Conceito de Entropia a partir do Século XVIII*. Dissertação de Mestrado, IFUSP/FEUSP, 1987.
- AZEVEDO, F. *A Cultura Brasileira*. S.Paulo, Melhoramentos, 1964.
- BACHELARD, G. 'Le Rationalisme Appliqué', Paris, Presses Universitaires de France, 1949.
- _____. *O Novo Espírito Científico*. Rio de Janeiro, Tempo Brasileiro, 1968.
- _____. *Filosofia do Novo Espírito Científico*. Lisboa, Presença, 1976.
- _____. *Epistemologia*. Rio de Janeiro, Zahar, 1977.
- BARNES, B. T.S. *Khun and Social Sciences*. London, Macmillan, 1982.
- BARROS, F.S. "Fusão Nuclear a Frio, Esperanças e Dúvidas". In: *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, n.52, abril/89.
- BARROS, S.S. "Concepções Alternativas sobre Energia". In: *Resumos do II EPEF*, S.Paulo, IFUSP, 1988.
- BASSALO, J. M. *Crônicas da Física*. Belém, GEU-UFPA, 1987.
- BEER, F. & JOHNSTON, E.R. *Mecânica Vetorial para Engenheiros*. S.Paulo, McGraw-Hill, 1980 (2 vols.).
- BEISIEGEL, C. *Política e Educação Popular*. S.Paulo, Ática, 1982.
- BELTRAN, N. "Combustão - Duas Interpretações Diferentes". In: *Revista de Ensino de Ciências*, n. 19, out/87.
- BERNAL, J.D. *Ciência na História*. Lisboa, Horizonte, 1976 (7 vols.).
- BERNARDES, N. "Física oscila entre os mitos de Apolo e Dionísio". Pub. IFUSP, publicado na Folha de S.Paulo, caderno Ciência, ed. 13/07/89.

- BERNSTEIN, B. *Class, Codes and Control*. London, Paladin, 1971.
- BLACKWOOD, O. et alii. *Física na Escola Secundária*. Brasília, INEP/MEC, 1962.
- BÔA NOVA, A.C. *Energia e Classes Sociais no Brasil*. S.Paulo, Loyola, 1985.
- BOHM, D. *Wholeness and the Implicate Order*. London, Routledge & Kegan, P., 1980.
- _____. *Causality and Chance in Modern Physics*. London, Routledge & Kegan, P., 1984.
- _____. & Peats, D. *Ciência, Ordem e Criatividade*. Lisboa, Gradiva, 1989.
- BOEKE, K. "Cosmic View". In: *Gateway to the Great Books. Britannica*, vol. 8, Chicago, 1971, pp. 600/640.
- BOHR, N. *Sobre a Constituição dos Átomos e Moléculas*. Lisboa, Gulbenkian, 1969.
- BORN, M. *Atomics Physics*. N.York, Hafner, 1946.
- BROCKMAN, J. *Einstein, Gertrude Stein, Wittgenstein & Frankenstein*. S.Paulo, Companhia das Letras, 1988.
- BROGLIE, L. "Logique et Connaissance Scientifique". In: *Enciclopedia de la Pleiade*, Paris, Galimard, 1967.
- BRUNER, J.S. *O Processo da Educação*. S.Paulo, Nacional, 1970.
- BUFFA, E. *Ideologias em Conflito: Escola Pública e Escola Particular*. S.Paulo, Cortez & Moraes, 1979.
- CANIATO, R. *Um Projeto Brasileiro para o Ensino de Física. - O Céu*. S.Paulo, Nobel/Unicamp, 1975.
- CAPRA, F. *O Tao da Física*. S.Paulo, Cultrix, 1984.
- _____. *O Ponto de Mutação*, S.Paulo, Cultrix, 1986.
- CLARK, N. "Similarities and Differences between Scientific and Technological Paradigms". In: *Futures* n. 19 (1), feb/87, pp. 26/42.
- CIÊNCIA HOJE. Rio de Janeiro, encarte: "Os Autos de Goiânia".
- n. 40, maio/1988.
- _____. Editorial: *Democracia é Educação*. 11 (62), mar/90.
- COHEN, B. *O Nascimento de uma Nova Física*. S.Paulo, Edart, 1967.
- COPÉRNICO, N. *As Revoluções das Orbes Celestes*. Lisboa, Gulbenkian, 1984.
- CUNHA, L.A. *Educação e Desenvolvimento Social no Brasil*. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1975.
- CURY, C.J. *Educação e Contradição*. S.Paulo, Cortez, 1985.
- DEKKER, J.A. et alii. "Pre-University Physics Presented in a Thematic and Systematic Way". In: *European Journal of Science Education*. 8 (2), 1986, pp. 145/53.
- DELIZOICOV, D. *Concepção Problematicadora para o Ensino de Ciências na Educação Formal*. Dissertação de Mestrado, S.Paulo, IFUSP/FEUSP, 1982.
- _____. "O Ensino de Física e a Concepção Freiriana de Educação". In: *Revista de Ensino de Física*, S.Paulo, SBF, 5 (2), dez/83.
- _____. *Conhecimento, Tensões e Transições*. Tese de Doutorado, S.Paulo, FEUSP, 1991.
- DI CROPANI, O. F. *O Mundo da Eletricidade*. S.Paulo, Publ. Eletropaulo, 1986.
- DIDEROT & D'ALEMBERT. *Enciclopédia*. S.Paulo, Unesp, 1989.
- DRIVER, R. "The Students' Understanding of Heat and Energy". *Raport in Science Education*; The Un. of Surrey, 1988.
- DUCASSÉ, P. *História das Técnicas*. Lisboa, Europa-América, 1962.
- ECO, H. *O Nome da Rosa*. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1983.

EDDINGTON, A. S. *La Filosofia de la Ciencia Física*. Buenos Aires, Sudamericana, 1946.

_____. "The Running-Down of the Universe". In: *Gateway to the Great Books of Enciclopedia Britannica*, vol. 8, Chicago, 1971, pp. 565/580.

ELJKELHOF, H.M.C. & KOTLAND, K. "Broadenning the Aims of Physics Education". *Publ. of PLON Project*. Un. of Utrecht, The Netherlands, 1989.

EINSTEIN, A. & INFELD, L. *A Evolução da Física*. Rio de Janeiro, Zahar, 1966.

EISBERG, R. M. & LERNER, L.S. *Física - Fundamentos e Aplicações*. S.Paulo, McGraw-Hill, 1982 (4 vols.).

ELMANDJRA, M. "Fusion de la Science e de la Culture: la Clé du 21^e Siècle". In: *Futuribles*, Paris, n.138, dec/89, pp. 03/15.

FARIA, A. L. *Ideologia no Livro Didático*. S.Paulo, Cortez, 1984.

FERREIRA, M.O.V. "Contribuição ao Debate sobre a Pedagogia Crítico-Social dos Conteúdos". In: *Contexto e Educação*, Ijuí, n.7, jul-set/87.

FEYERABEND, P. *Contra o Método*. S.Paulo, Melhoramentos, 1977.

FEYNMAN, R. P. et alii. *The Feynman Lectures on Physics*. N.York, Addison-Wesley, 1972 (3 vols.).

FONSECA, L. B. *Introdução à Cosmologia e Astrofísica*. Campinas, Papirus, 1984.

FREINET, C. *Para uma Escola do Povo*. Lisboa, Presença, 1979.

FREIRE, G. *Casa Grande e Senzala*. Rio de Janeiro, Maia & Schmidt, 1934.

FREIRE, P. *Extensão ou Comunicação?* Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1975.

_____. *Pedagogia do Oprimido*. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1976.

_____. *Conscientização*. S.Paulo, Cortez, 1979.

_____. *Cartas à Guiné-Bissau*. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1980.

FREITAG, B. *Escola, Estado e Sociedade*. S.Paulo, Moraes, 1986.

_____. *A Teoria Crítica Ontem e Hoje*. S.Paulo, Brasiliense, 1988.

FRIGOTTO, G. *A Produtividade da Escola Improdutiva*. S.Paulo, Cortez, 1986.

_____. "Trabalho - Educação e Tecnologia: Treinamento Polivalente ou Formação Politécnica?". In: *Educação e Realidade*. Porto Alegre, 14 (1) jan-jul/89.

FUCHS, W. *Física Moderna*. S.Paulo, Polígono, 1972.

GADOTTI, M. *Concepção Dialética da Educação*. S.Paulo, Cortez, 1986.

GAMA, R. *História da Técnica e da Tecnologia*. S.Paulo, Edusp, 1985.

GAMOW, G. *Biografia da Física*. Rio de Janeiro, Zahar, 1963.

_____. *O Incrível Mundo da Física Moderna*. S.Paulo, Ibrasa, 1980.

GEYMONAT, L. *Ciencia y Realismo*. Barcelona, Península, 1980.

GIROUX, H. *Teoria Crítica e Resistência em Educação*. Petrópolis, Vozes, 1986.

_____. *Pedagogia Radical*. S.Paulo, Cortez, 1984.

GLEICK, J. *Caos*. Rio de Janeiro, Campus, 1990.

GODET, M. "Défis et Crise Mondiale des Systèmes Educatifs". In: *Futuribles*, n.118, Paris, fevr/88. Publicado também in *Futures*, 20 (3), jun/88.

- GOLDENBERG, J. *Energia no Brasil*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1979.
- _____. (Coord.) *Problemas de Energia no Brasil*. Brasília, IPEAC, 1976.
- GOLDMAN, L. *Ciências Humanas e Filosofia*. S.Paulo, Difel, 1980.
- GOLDSTEIN, H. *Classical Mechanics*. Palo Alto, Addison-Wesley, 1966.
- GORDON, T.J. & GREENSPAN, D. "Chaos and Fractals: New Tools for Technological and Social Forecasting". In: *Technological Forecasting and Social Change*, N.York, 40 (34), pp. 01/25.
- GREAT BOOKS - ENCICLOPAEDIA BRITANNICA. vol. 34, Newton & Huygens.
- _____. "Universal and Particular", vol. II, cap. 96, *The Great Ideas- A Syntopicon*.
- GRAF. Física 1. S.Paulo, Edusp, vários autores, 1990.
- GRAF. Textos diversos, edição preliminar. S.Paulo, IFUSP, vários autores, 1986/89.
- HABERMAS, J. 'Técnica e Ciência enquanto Ideologia', In: *Textos Escolhidos*, S.Paulo, Abril, 1983, coleção 'Os Pensadores', pp. 313/343.
- HALLIDAY, D. & RESNICK, R. *Física*. S.Paulo, Livros Técnicos e Científicos, 1984 (4 vols.).
- HANNOUN, H. *El Niño Conquista el Medio*. Buenos Aires, Kapeluz, 1977.
- HANSON, N.R. *Patrones de Descubrimiento: Observación y Explicación*. Madrid, Alianza, 1985.
- HAMBURGER, E. W. *O Que É Física*. S.Paulo, Brasiliense, 1984.
- HELMHOLTZ, H. L. "On the Conservation of Kraft". In: *Gateway to the Great Books of Enciclopedia Britannica*, vol. 8, Chicago, 1971, pp. 451/484.
- HERTZ, H. *Principles of Mechanics*. Leipzig, 1884.
- HESSEN, B. "As Raízes Sociais e Econômicas dos Principia de Newton". In: *Revista de Ensino de Física*. S.Paulo, vol.6 (1), abril/84; tradução do original publicado em N. Buckharin (ed.) *Science and the Cross Roads*, London, Cass, 1971.
- HOLTON, G. *A Imaginação Científica*. Rio de Janeiro, Jorge Zahar, 1979.
- _____. *The Thematic Origins of Scientific Thought - Kepler to Einstein*. Boston, Harvard Press, 1983.
- _____. & BRUSH, S. *Introducción a los Conceptos y Teorías de las Ciencias Físicas*. Barcelona, Reverté, 1976.
- HORKHEIMER, M. "Teoria Tradicional e Teoria Crítica". In: *Textos Escolhidos*, col. Os Pensadores. S.Paulo, Abril, 1983.
- HUTCHINS, R.M. "Education for All". In: *Great Books - Britannica*, Chicago, 1971, vol. I - *The Great Conversation*, pp.42/51.
- INSTITUTO DE FÍSICA - USP. *Trabalho Humano e Uso de Energia*. S.Paulo, IFUSP/CESP, 1986.
- JAPIASSU, H. *Questões Epistemológicas*. Rio de Janeiro, Imago, 1981.
- _____. *Introdução ao Pensamento Epistemológico*. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1977.
- JAUCH, J. M. *São os Quanta Reais? - Um Diálogo Galileiano*. S.Paulo, Nova Stella/EDUSP, 1986.
- JOLL, J. *As Idéias de Gramsci*. S.Paulo, Cultrix, 1979.
- KADANOFF, L. "Fractals - Where Is the Physics?" In: *Physics Today*, 39 (2), feb/86.
- KATINSKY, J.R. *Um Guia para a História da Técnica no Brasil Colônia*. Pub. FAU/USP, sd.
- KNELLER, G. *A Ciência como Atividade Humana*. S.Paulo, Zahar/EDUSP, 1980.
- KOYRÉ, A. *Do Mundo Fechado ao Universo Infinito*. Rio de Janeiro, Forense Universitária, 1986.
- KRUGER, C. "Some Primary Teachers' Ideas about Energy". In: *Physics Education*, 25 (4) 1990, pp. 87/91.

- KUENZER, A. *O Trabalho como Princípio Educativo*. S.Paulo, Cortez, 1988.
- KUHN, T. S. *A Estrutura das Revoluções Científicas*. S.Paulo, Perspectiva, 1976.
- _____. *La Tensión Essencial*. México, Fondo de Cultura Económica, 1987.
- _____. "Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery". In: Clagett, M. (ed.) *Critical Problems in the History of Science*, The Un. of Wisconsin Press, Madison, 1959, pp. 321/356.
- LAKATOS, I. & MUSGROVE, A. (ORG.) *A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento*. S.Paulo, Cultrix/Edusp, 1979.
- LASZLO, E. "Technology and Social Change: an Approach from Nonequilibrium Systems Theory". In: *Technological Forecasting and Social Change*. 29 (3), may/86, 271/83.
- LEWIS, J. *O Ensino da Física Escolar*. Lisboa, Estampa, 1976.
- LIBÂNEO, J.C. *Democratização da Escola Pública*. S.Paulo, Loyola, 1985.
- LJUNSE, P.L. "Energy between the Life-World of Pupils and the World of Physics". In: *Science Education*, London, 74 (5), 1990, 571/83.
- _____. et alii. "A Thematic Physics Curriculum: a Balance between Contradictory Curriculum Forces". In: *Science Education*, London, 74 (1), 1990, pp. 95/103.
- LINDSAY R.B. & MARGENAU, H. *Foundations of Physics*. N.York, Dover, 1963.
- LIVI, R.P. "Como Estimar Dimensões e Grandezas Físicas: Pequenos e Grandes Números". In: *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, 7 (2), ago/90, pp. 128/132.
- LORENTZ, H. et alii. *O Princípio da Relatividade*. Lisboa, Gulbenkian, 1983.
- LORENZ, K. "Os Livros Didáticos e o Ensino de Ciências na Escola Brasileira do Século XIX". In: *Ciência e Cultura*. SBPC, 38 (3), 1986, pp. 426/435.
- _____. & BARRA, V.M. "Produção de Materiais Didáticos de Ciências no Brasil, Período: 1950 a 1980". In: *Ciência e Cultura*. SBPC, 38 (12), dez/86, 1971/83.
- LUCIE, P. *Física Básica*. vol.1. Mecânica 1. Rio de Janeiro, Campus, 1979.
- MASON, J.P. *História da Ciência*. Rio de Janeiro, Globo, 1964.
- MENEZES, L.C. *Crise, Cosmos e Vida Humana*. Tese de Livre-Docência, S.Paulo, IFUSP, 1989.
- MONOD, J. *L'Hasard et la Necessité*. Paris, Seuil, 1970.
- _____. et alii. *Das Ciências na Filosofia: da Filosofia nas Ciências*. Porto, Rés, sd.
- MORIN, E. *Ciência e Consciência*. Mem Martins- Portugal, Europa-América, sd.
- _____. *O Paradigma Perdido*. Mem Martins, Europa-América, sd.
- _____. *O Problema Epistemológico da Complexidade*. Mem Martins, Europa-América, sd.
- MORRISON, P.P. *Potencias de Diez*. Barcelona, Labor, 1984.
- MORTON, M. S. *The Concept of Energy Simply Explained*. N.York, Rodale Press, 1975.
- MOSCOVICI, S. *Psicologia Social*. Porto Alegre, Artes Médicas, 1990.
- MOTA, C.G. *Ideologia da Cultura Brasileira*. S.Paulo, Edusp, 1990.
- MOTOYAMA, S. (org.) *História da Ciência - Perspectiva Científica*. XLVI - Coleção da Revista de História. S.Paulo, 1974.
- MURPHY, G.L. "Comprehending Complex Concepts". In: *Cognitive Sciences*. n.12, 1988, pp. 529/62.
- OKUNO, E. et alii. *Física para Ciências Biológicas e Biomédicas*. S.Paulo, Harbra, 1982.

- PARKER, E. "L'Education Peut Causer des Catastrophes". In: *Futuribles*, Paris, n.131, avril/89.
- PERNAMBUCO, M. M. *Ensino de Ciências a partir de Problemas da Comunidade* - Dissertação de Mestrado - S.Paulo, IFUSP/FEUSP, 1981.
- _____. "Concepção Orgânica do Ensino Problematizador". In: *Atas do Seminário: Ciência Integrada ou Integração entre as Ciências: Teoria e Prática*. Rio de Janeiro, UFRJ, 1988.
- PIAGET, J. *A Epistemologia Genética*. Petrópolis, Vozes, 1973.
- _____. *O Estruturalismo*. S.Paulo, Difel, 1974.
- _____. & INHELDER, B. *O Desenvolvimento das Quantidades Físicas nas Crianças*. Petrópolis, Vozes, 1975.
- _____. & GARCIA, R. *Psicogênese e História das Ciências*. Lisboa, Dom Quixote, 1987.
- PIMENTA, S.G. & GONÇALVES, C.L. *Revendo o Ensino de Segundo Grau- Propondo a Formação de Professores*. S.Paulo, Cortez, 1990.
- PLON PROJECT. Un. of Utrecht, vários textos e autores.
- P.N.C.S. - *Physical Science to Nonscience Students*. Introducció a las Ciencias Físicas, Vários Autores- Rensselaer Polytechnic Institute, Barcelona, Reverté, 1971.
- POHL, H.A. *Introdução à Mecânica Quântica*. Brasília, Edgard Blücher, 1973.
- POPPER, K. *A Lógica da Pesquisa Científica*. S.Paulo, Cultrix/Edusp, 1972.
- PRIGOGINE, I. "Science, Civilization and Democracy". In: *Futures*, N.York, 18 (4), aug/86, pp. 493/507.
- _____. & STENGERS, I. *A Nova Aliança*. Brasília, UNB, 1985.
- REIF, F. *Statistical and Thermal Physics*. Tokyo, McGraw-Hill, 1965.
- RESNICK, R. "Teaching Physics, but what kind of Physics?". In: *American Journal of Physics* - 'Notes', sept/89.
- ROBILOTTA, M. "Construção e Realidade no Ensino de Física". S.Paulo, Publ. IFUSP, 1985.
- ROMANELLI, O. *História da Educação Brasileira*. Petrópolis, Vozes, 1986.
- RONAN, C. A. *História Ilustrada da Ciência*. Rio de Janeiro, Jorge Zahar, 1987 (4 vols.).
- ROSSI, P. *O Filósofo e as Máquinas*. S.Paulo, Companhia das Letras, 1989.
- RUSSEL, B. *Análise da Matéria*. S.Paulo, Cultrix, 1986.
- SAGAN, C. *Cosmos*. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1981.
- SAVIANI, D. *Escola e Democracia*. S.Paulo, Cortez, 1983.
- _____. *Educação: Do Senso Comum à Consciência Filosófica*. S.Paulo, Cortez, 1985.
- SCHENBERG, M. *Pensando a Física*. S.Paulo, Brasiliense, 1984.
- SNYDERS, G. *Pedagogia Progressista*. Coimbra, Almedina, 1974.
- _____. *Escola, Classes e Luta de Classes*. Lisboa, Moraes, 1977.
- _____. *A Alegria na Escola*. S.Paulo, Manole, 1988.
- SILK, J. *O Big Bang - A Origem do Universo*. Brasília, UNB/Hamburg, 1985.
- SOLLA PRICE, D.J. "Is Technology Historically Independent of Science?" In: *Technology and Culture*, VI (4), 1965.
- SOLOMON, J. "Learning about Energy: How Pupils Think in Two Domains". In: *European Journal of Science Education*. 5 (1), 1983, pp.49/59.
- _____. "Teaching the Conservation of Energy". In: *Physics Education*. 18 (3) 1983, pp. 165/70.

- SOUZA, S.B. "Um discurso sobre as Ciências na Transição para uma Ciência Pós-Moderna". In: *Estudos Avançados - USP*, jul/88, pp. 46/71.
- STENGERS, I. *Quem Tem Medo da Ciência? - Ciência e Poderes*. S.Paulo, Siciliano, 1990.
- STONE, J. M. *Radiation and Optics*. N.York, McGraw-Hill, 1963.
- STROTHER, G.K. *Physics with Applications in Life Sciences*. Boston, Houghton, 1977.
- SWIFT, D. G. *Physics for Rural Development*. N.York, John Wiley, 1983.
- THE FUNDAMENTAL PARTICLES OF MODERN PHYSICS: "Fundamental Particles and Interactions - A Wall Chart of Modern Physics". In: *The Physics Teacher*, 26 (9), dec/88, pp. 556/65.
- TOMONAGA, S.I. *Quantum Mechanics*. Amsterdam, North Holland, 1968 (2 vols.).
- ULLMO, J. "Le Concept Physique". In: *Enciclopedia de la Pleiade - Logique et Connaissance Scientifique*. Paris, Gallimard, 1976.
- VIGOTSKY, L. S. *Pensamento e Linguagem*. S.Paulo, Martins Fontes, 1987.
- _____. *A Formação Social da Mente*. S.Paulo, Martins Fontes, 1988.
- VILLANI, A. *Conteúdo Científico e Problemática Educacional*. Tese de Livre-Docência, S.Paulo, IFUSP, 1986.
- WATTS, D. "Some Alternative Views of Energy". In: *Physics Education*. 18 (6) 1983, pp. 213/25.
- WEBER, R. *Diálogo entre Cientistas e Sábios*. S.Paulo, Cultrix, 1986.
- WEINBERG, S. *Os Três Primeiros Minutos*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1980.
- WEISSKOPF, V. F. *Indagação e Conhecimento - O Universo Físico de Acordo com o Conhecimento Atual*. S.Paulo, Funbec, 1975.
- WHITEHEAD, A. N. *A Ciência e o Mundo Moderno*. S.Paulo, Brasiliense, 1951.
- WHITTAKER, E.T. *A History of the Theories of Aether and Electricity*. N.York, Humanities, 1961.
- ZANETIC, J. *Física Também É Cultura*. Tese de Doutorado. S.Paulo, FEUSP, 1990.
- ZIMAN, J. *Conhecimento Público*. Belo Horizonte, Itatiaia/Edusp, 1979.
- _____. "It's not what you do: it's the way that you do it! - The Rationale of STC Education is in the Approach". In: *Science Policy Support Group*. London, 1990.
- ZYLBERSTAJN, A. *A Conceptual Framework for Science Education: Investigating Curricular Materials and Classroom Interactions in Secondary School Physics*. Tese de Doutorado, Un. of Surrey, 1983.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE EDUCAÇÃO

FRAGMENTOS E TOTALIDADES NO CONHECIMENTO CIENTÍFICO E NO
ENSINO DE CIÊNCIAS

José André Peres Angotti

1991

ANEXO E APÊNDICES

Tese submetida à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo como requisito final para a obtenção de título de Doutor em Educação.

Orientador: Luís Carlos de Menezes

ANEXO E APÊNDICES

SUMÁRIO

PÁGINA

ANEXO

A

APÊNDICE 1 PARTE A

IA

- PARTE B

IB

APÊNDICE 2

II

APÊNDICE 3

III

APÊNDICE 4

IV

ANEXO: MEMORIAL CIRCUNSTANCIADO

INTRODUÇÃO E HISTÓRICO

Escrevo este memorial em Florianópolis, trabalhando no Departamento de Metodologia de Ensino do Centro de Educação da UFSC, chegado há dois anos de São Paulo.

Atualmente, leciono 'Metodologia e Prática de Ensino de Física' para poucos licenciandos, além de 'Educação e Ciências' para outros poucos mestrandos. Até fins de 88, lecionei alternadamente disciplinas de Física Básica (Geral e Experimental I,II,III e IV, também Mecânica Geral I e II) para muitos engenheirandos. Como parte desta mudança de ritmo e local, sou doutorando em São Paulo e professor em Florianópolis.

Tendo começado pelo presente e resistindo a historiar detalhadamente minha trajetória, farei neste relato um recuo no tempo. Parto das atuais preocupações, do *problema* que investigo visando o doutoramento, de práticas e reflexões, retrocedendo até o início de minha escolaridade.

Tomando a minha escolarização como referencial, tentarei associar, em cada época, o trabalho que desenvolvia com as reflexões que fazia sobre ele *então* e *agora*. O referencial é significativo, pois chego aos 42 tendo estado na (e com a) escola desde os 6 anos.

Na regressão temporal, contemplo: Doutoramento (em trânsito); Projetos de Ensino recentes e Trabalho docente; Mestrado e Projeto de Ensino na Guiné-Bissau; Graduação, Trabalho na indústria e Curso Técnico de Química Industrial; Ginásio e Primário no interior.

DOUTORAMENTO (O PRESENTE)

No momento, preocupo-me com a inserção da *Ciência* e da *Tecnologia* (C&T) na *Cultura*, tomada no seu sentido mais amplo, antropológico. Cultura concebida como complexo de relações das práticas humanas, consideradas as bases espirituais (conceituais) e materiais da vida. Não a cultura na acepção mais francesa que, ao dar as costas às bases produtivas, incorpora somente a ciência 'desinteressada' ou pura.

Abraçando a primeira conceituação, pergunto: Porque a Ciência e a Tecnologia participam, tão tangencialmente, da vida cultural brasileira?

Ciência e Tecnologia são empreendimentos que precisam, ao lado de outros, integrar a cultura nacional, num amalgamado orgânico. Tal composição é difícil, principalmente ao considerarmos C&T em *dois níveis de cultura*: o primeiro, ao qual todas as pessoas têm acesso, ainda que compulsivamente, e o elaborado, muito pouco acessível, pois raramente explicitado mesmo nos países mais avançados. Colocada a questão, procuro pistas para alternativas e respostas. É o tema geral do doutoramento, que parte de cultura e deságua em educação e ciência.

Localizo então nas fontes epistemológica por um lado e pedagógica, por outro, elementos que possam contribuir para a formação de um quadro de referência. Que possam como consequência apontar para alternativas ao plano didático. Que daí, do planeamento à sala de aula, auxiliem professores de Ciências Naturais (CN) e de Física a trabalhar Ciência e Tecnologia na perspectiva de inserção cultural.

Ao focalizar mais o interesse do trabalho académico, discutirei, no terreno epistemológico, a tensão entre os *fragmentos* e as *totalidades* do conhecimento, pois Ciência (moderna, a partir de Galileu) se descola de outras esferas e se instala em terreno próprio, e estabelece com a Tecnologia (moderna, industrial) uma relação sem precedentes na história dos homens.

No terreno pedagógico, temos que a Educação (moderna, a partir de Comenius) é empreendimento humano que seleciona, fragmenta partes do conhecimento universal acumulado para transmitir-las às novas gerações. Reproduzir, como muitos defendem, mas também resistir à reprodução, como alguns nos lembram, com suas propostas de educação radical.

Tão velha como os homens que nos deixaram registros, com destaque para o legado dos gregos, a tensão entre os 'recortes' e os 'todos' é mais do que nunca atual. Hoje, ora se revela como *especialização versus universalidade*, ora como *disciplinas versus interdisciplinaridade*. Ao refletir, nos últimos anos, sobre o ensino de CN e de Física, tenho abordado o problema e procurado alternativas para reduzir ou minimizar a atomização do conhecimento que transmitimos nos três graus de ensino. Assim, busco trabalhar o conhecimento em CN em contraposição ao hoje estabelecido, muito reforçado pelos livros didáticos e prática docente na área.

Aparentemente, a 'exclusão' da C&T da concepção de cultura não seria culpa da escola, pois esta é pródiga em 'disciplinas científicas'. Ademais, à Ciência é atribuído constantemente o crédito pelo desenvolvimento tecnológico. Entre a palavra e o ato há, no entanto, um hiato.

Que tem a ver a *Energia*, conceito físico de alta abstração, com a 'energia' usada pelo automóvel, pelo fogão ou pelo chuveiro? Que tem ela a ver com as Ciências e as Tecnologias pensadas como disciplinas escolares?

A ciência que unifica (com conceitos universais como o de Energia), a ciência que explica (com idéias tão gerais como a de reação química), parece estar ostensivamente apartada da *práxis* cotidiana da 'ciência inclusa' que se tornou 'chip', fibra óptica, motor de indução, ou que destes decorreu. Deste apartar-se parece resultar entre outras uma grande perda, a perda da noção de totalidades, que a própria ciência moderna busca obstinadamente.

A abordagem temática, de origem na concepção de Paulo Freire, e a utilização sistemática de conceitos supradisciplinares que denomino conceitos unificadores indicam pistas para responder à inquietação.

É sobretudo este último aspecto o que, de caráter mais inédito e estrutural, constitui o eixo deste trabalho, a saber: *o que são, quais são e como podem ser utilizados os conceitos unificadores?* A tese que escrevi equaciona e dá uma solução plausível à questão colocada.

De uma outra 'gênese' dessa preocupação trato em seguida: aquela que situa sua origem na minha trajetória.

PROJETOS DE ENSINO RECENTES

Deixo de lado por ora o acadêmico, para registrar minha participação em um projeto de ensino no biênio 87/88. Nele, colaborei com a produção de dois conjuntos de materiais didáticos, que propõem subsidiar a atividade docente no segundo grau.

O primeiro destina-se à disciplina Física, elaborado em co-autoria com Demetrio Delizoicov; este subsídio incorpora, tanto em conteúdos como em metodologia, muito do que vimos propondo e praticando nos últimos anos (consultar apêndice 1).

Os subsídios para a disciplina Física fazem parte do Projeto de Reformulação Curricular do segundo grau - núcleo comum -, que inclui outros onze, de todas as disciplinas deste nível, sem negligenciar as 'optativas' - Sociologia e Filosofia.

O outro conjunto destina-se à disciplina 'Metodologia do Ensino de Ciências', oferecida aos cursos de Magistério, nível profissionalizante do segundo grau. Constitui parte, ao lado de outros onze, das disciplinas desta habilitação, tão negligenciada nos últimos anos.

Coordenei equipe de seis professores que, da forma mais interdisciplinar possível, produziu estes últimos subsídios. Dois professores de Química e outros dois de Biologia, que haviam, como Delizoicov e eu, elaborado os subsídios para sua disciplina específica do núcleo comum, completaram a equipe.

O projeto citado, convênio entre a Secretaria de Segundo Grau do MEC e a PUC/SP, apresentou, em prazo exíguo, todos os subsídios, envolvendo equipe multidisciplinar, que se reuniu freqüentemente durante a elaboração e discutiu sua unidade. Uma excelente oportunidade para quem, como eu, não havia, até então, trabalhado com professores e especialistas de outras áreas, além da nossa.

Por um lado, todos tivemos oportunidade de relativizar nossas posições, ouvindo e questionando outros integrantes; por outro lado, tentamos superar as dificuldades de ação conjunta, as visões distintas, os inevitáveis filtros. Necessária, porém difícil, é a interdisciplinaridade, ou mesmo sua busca.

Paralelamente às atividades neste projeto, lecionei disciplinas básicas em São Paulo (Faculdade de Engenharia São Paulo), em São José dos Campos (Escola de Engenharia Industrial), com breve passagem pela FATEC-S.PAULO, até vir para a UFSC.

Seminários, encontros, leituras e discussões foram muito freqüentes, amadurecendo e avançando as questões levantadas aqui, simultaneamente à prática que fazíamos.

Outro projeto que cruzou comigo nos anos recentes foi desenvolvido no estado do RN, inicialmente aplicado com professoras de escolas elementares do interior (São Paulo do Potengi) e posteriormente junto a uma escola pública da capital, Natal. Coordenado pela professora Marta Pernambuco, o projeto 'Ensino de Ciências a partir de Problemas da Comunidade' procurou introduzir as professoras na formação inédita de conhecimentos em CN, na perspectiva crítica, a

partir da '*investigação temática*'. Desenvolvemos material de ensino para os alunos (crianças), perseguindo sua *alfabetização científica e tecnológica*.

Assessorei o trabalho, acompanhando-o continuamente de São Paulo, com viagens ao RN, por várias ocasiões, de 85 a 88. Durante as férias escolares, trabalhávamos em seminários com as professoras. As atividades sempre foram encaradas como uma associação entre *teoria e prática*. Ao lado da abordagem temática, do estudo oportuno e obrigatório da psicologia da aprendizagem e da social, utilizamos sempre uma vertente apoiada na história, evolução e prática do conhecimento científico, aplicada aos materiais didáticos, programas curriculares e assuntos para estudo com as docentes, pelos conceitos unificadores de TRANSFORMAÇÕES e REGULARIDADES.

Em companhia de Marta Pernambuco e Demetrio Delizoicov (que também assessorou o projeto, desde sua implantação), venho avançando estas questões no dualismo reflexão e prática.

O 'trio' é aberto, comunicando-se com outras equipes. Dentre elas, com destaque, os professores que conduziram e elaboraram material para o projeto de reelaboração curricular de Física de segundo grau, o GREF, no IFUSP. Também com equipes de pedagogos e outras, voltadas para o ensino de outras áreas.

Até início de 87, desde 76, fui professor da Faculdade de Engenharia Industrial (FEI), em São Bernardo do Campo, sempre em regime de tempo integral. Junto às atividades da FEI, atuei também em outras áreas, principalmente aquelas de interesse do mestrado e as voltadas para a formação de professores.

Envolvido nesta escola profissionalizante com uma gama de problemas definidos pelo ensino básico de Física, defendi sempre a incorporação da pesquisa (atividade pouco presente nessas instituições fundacionais) ao ensino e à extensão. Estudei, no biênio 83 e 84, assuntos de Física Aplicada que faziam ressonância com certas prioridades da escola.

Completei estes estudos com um estágio de aperfeiçoamento na França, nos campos da Difração de Raios-X e da Microscopia Eletrônica, aplicadas à Metalurgia e Mecânica Fina, em 84. Enquanto lá estive, mantive e fortaleci contatos com grupos e instituições que já conhecia, por conta de atividade anterior, voltada para o ensino de CN. Foi, contudo, uma fase de estudos mais específicos, enquanto não iniciava os cursos no programa de doutoramento da FEUSP. Ainda em 85, tentei ampliar a concepção de pesquisa e a base de atuação na FEI, sem sucesso.

MESTRADO E FORMAÇÃO DE PROFESSORES NA GUINÉ-BISSAU.

Elaborei e defendi a dissertação de mestrado em 82, concretizado depois de outra experiência fora do país. Embora muito estimulado na época, deixei de publicá-la na forma de livro, de maneira a ampliar substancialmente sua divulgação. Com essa omissão deixei de socializar atividade a que poucos tiveram acesso. Deixei também de me expor a um debate mais amplo, firme e crítico, que muito teria enriquecido minhas reflexões da época.

O projeto de formação de professores de CN da Guiné-Bissau, que norteou a dissertação, suas premissas, prática, resultados e questionamentos, já foi devidamente descrito e analisado na

ocasião. O assunto a ser investigado no doutoramento está também embrionário nos escritos de 82. No capítulo 3 da dissertação, tratei da "ENERGIA como CONCEITO UNIFICADOR", etapa final de formação dos professores guineenses ('Solução Alternativa para a Formação de Professores de Ciências Naturais' - Dissertação de Mestrado - IFUSP/FEUSP, 1982).

Recuando um pouco mais, localizo o período dos cursos da PG e os seminários que promovíamos, com Menezes, Zanetic, Demetrio e outros colegas. Procurávamos as potencialidades das proposições do tipo 'Física das Coisas e do Cotidiano', 'Concepção de Paulo Freire e Ensino de Física'. Paralelamente, um curso de Ensino de Relatividade Especial permitiu a produção nossa (estudantes do curso) de módulo de ensino aplicado a algumas turmas do IFUSP e da Poli. Muita vibração e entusiasmo caracterizaram esse período.

Como tendência majoritária, os cursos voltados para a Tecnologia Educacional estiveram presentes e também apontaram resultados. Participei, colaborando com uma equipe numerosa, da formulação do projeto Física Auto-Instrutiva (FAI), editado e de grande aceitação pelos docentes da época. Trabalhei em escolas como aplicador dos materiais produzidos, em protótipo, para o projeto.

Anteriormente ao início da PG, desloquei-me para Maringá-PR, permanecendo lá por três semestres, como Auxiliar de Ensino. Boa chance para quem começava e aguardava oportunidade para ingressar na PG, pois a UEM era nova e muito havia por fazer.

Estudava com entusiasmo História da Ciência, mantinha contatos com o professor Shozo Motoyama da Faculdade de História da USP, procurando avançar nesta área, pouco prestigiada na graduação.

GRADUAÇÃO, INDÚSTRIA e SEGUNDO GRAU TÉCNICO

A graduação em licenciatura no IFUSP deu-se de 69 a 72, com o primeiro ano cumprido no período noturno e simultâneo trabalho técnico na indústria. Os demais, no curso diurno, acompanhados por trabalho docente em escolas noturnas de primeiro e segundo graus.

O curso de Física era bastante procurado, com muitas matrículas e não muitas graduações. Éramos centenas, cursando disciplinas diversas, com aulas em vários prédios do campus, dispersos, sem turmas fixas. Não se constituía num curso modelo...

Como nada acontece isoladamente, os resultados de 68 e as subseqüentes ações do poder prejudicaram a vida acadêmica. Era difícil manter a 'alegria de estudar e curtir o privilégio de fazer universidade'. O Brasil ia mal, percebíamos claramente, mas lá fora as aparências sugeriam algo distinto, o 'milagre'...

Junto às satisfações desta fase, marcaram presença constante os sobressaltos, a desconfiança e a sensação de impotência.

Durante o curso, os estudantes promoviam alternativas do tipo 'rebeldes com causa', com destaque para a introdução de estudos de Física Moderna precocemente, cursos de História da Ciência não tanto abençoados pelos currículos oficiais, discussões e seminários sobre relações

entre Física e Sociedade. Acompanhei o melhor possível estas experiências; estão na memória com igual ou maior presença que os cursos regulares.

Lecionava em escolas públicas, era grande a expansão de estabelecimentos; comecei na periferia, depois fui mais para o centro, em escolas com boa tradição em bairros de classe média. Com salário bastante suficiente, cobria despesas básicas e até fazia viagens com acampamento. Fui professor-estudante de 70 a 72.

Durante a graduação, ainda mantinha estreito contato com o universo de minha cidade natal, Mococa. Fundamos lá, em 68, uma entidade que congregava estudantes universitários da cidade que freqüentavam cursos fora (não havia curso superior em Mococa). Todo ano, nas férias de julho, promovíamos a Semana do Universitário, com intensa atividade nas esferas cultural, social e esportiva.

Presidente da entidade em 70, envolvi-me para marcar a semana e torná-la irreversível, junto com outros amigos. Valeu a pena; até hoje ela é levada a cabo, com sucesso. Mesmo atividades culturais são prestigiadas, como teatro. Quem tem sua origem no interior 'pequeno', reconhece a importância destas iniciativas, bem como as dificuldades de sua implantação.

Não se pode ressaltar todas as pessoas e eventos que contribuíram para uma formação, nem se deve, pois memorial não é romance. Insisto que, por vias que não a pura escolaridade, juntei-me a outros, em locais 'próprios' ou não. Por esses caminhos também se dá uma formação, que amplia, subsidia, soma, mas que simultaneamente conflita com a formação escolar.

O clima do IFUSP, o mais aberto para a época, um espaço de resistência, aliado a outras atividades paralelas, ajudaram na decisão de encarar a carreira docente sem fantasias e de estudar, enquanto investigação, o ensino de CN e de Física.

Nada é perfeito... Quem podia, há 20 anos, prever o descaso e o sucateamento da escola e educação públicas? Nem o mais pessimista... Porém, a teimosia sempre superou frustrações.

Fiquei também marcado pelo cursinho, freqüentado em 68, período noturno. Contudo, a receita de 'fazer cabeças' não era tão rígida no 'Equipe'. Estudava-se bastante, mas não se deixava à margem o que se passava no 'ano que não terminou'.

De 64 a 67, freqüentei escola técnica, curso de Química Industrial, período noturno, trabalhando como bancário no centro velho durante o dia. Bom curso, professores dedicados, laboratórios e infra-estrutura adequados. Minha primeira escola na capital era particular e cara, foi cursada com bolsa de estudos reembolsável do 'Forum Roberto Simonsen'. Paguei, com salário de técnico industrial.

O trabalho na indústria foi profícuo e oportuno.

Fiz estágio em multinacional farmacêutica e comecei, como profissional, em grande fábrica de brinquedos. A formação que tive foi importante para superar concursos e exames disputados. Aprendi muito, sobretudo o que jamais se aprende nas escolas.

Socialmente, relacionava-me pela função que exercia, tanto com diretores como com operários; tecnicamente, acompanhei toda a diversidade de produção nos ramos de tintas, plásticos, metais, ferramentaria e outros múltiplos processos. Tive sorte nesta fase; descartei qualquer trabalho do tipo escritório ou banco.

Com relativo sucesso no trabalho industrial, resisti entretanto em prosseguir por este caminho. Fiz vestibular também para Química, comecei a cursar porque o resultado do exame de Física saiu bem atrasado. Desisti do primeiro curso, consciente que fechava portas para o trabalho futuro na indústria.

A VIDA NO INTERIOR

Terminei o ginásio em 63, encerrando vida boa no interior. O primário, fiz de 56 a 59. Os dois eram divididos, antes da legislação da Lei 5692. O primeiro grau de 8 séries inventado em 71 foi manobra esperta para separar adolescentes do ginásio de colegiais, conseqüentemente de grêmios e outras extrapolações não desejadas. Entre crianças e adolescentes do primeiro grau atual é muito mais difícil a interação; amadurecimentos precoces são menos prováveis.

Frequentei escola pública de boa qualidade para a época, paralelamente a uma vida intensa, com todas as limitações e mágicas do interior.

A maioria dos estudantes, filhos de emigrantes, muita pressão das famílias para estudar e muito sonho na cabeça. Quase todos acabamos chegando ao terceiro grau e a alguma profissão diferente da dos pais.

Muitos não iam à escola, mas essa seletividade não era assunto para discussão nas aulas do ginásio. Praticávamos esportes, natação inclusive. Nos bailes, 'podia haver' presença de todos os interessados; na piscina, só brancos! Esta 'seleção' absurda persistiu até o final dos anos 60. Discutíamos em casa ou com amigos, nunca na escola.

Cuidava de minhas obrigações escolares, tinha certa inclinação para Ciências, com mais jeito para pensar e escrever, e pouca habilidade para fazer. Pensava estudar Física ou outra Ciência, não engenharia, nem medicina, as mais almejadas.

Procurei participar desde cedo de assuntos extraclasse; o processo de socialização foi diversificado, um tanto elitizado em termos culturais por um lado, com direito a música tipo MPB e jazz, um tanto rústico do outro, principalmente na rua. Felizmente, nada de TV, o sinal nem chegava lá; conseguíamos fazer um pouco de tudo, até leituras que não só gibis.

Pela terceira série do ginásio, influenciado por alguns mestres que admirava, pensava também, sem maiores convicções, em ser *professor*.

Na infância, escola e rua se alternavam. Era e sempre fui mais inclinado a observar e admirar as coisas e suas transformações. Visitava freqüentemente, com alegria, a marcenaria de meus tios; meu pai, falecido precocemente (meses depois que nasci), era fresador, minha mãe foi telefonista enquanto solteira, bordava depois do casamento. Estudaram em escola secundária pública profissional, o máximo para filhos de imigrantes.

Não era muito ligado à natureza viva, bichos e plantas, pois estava num mundo onde este universo se fazia presente e isso bastava para mim.

Praticava brincadeiras sazonais, bolinhas de gude, peões, papagaios, com esportes todos os dias. Vida boa, casa confortável de meus avós maternos, classe média.

Antes da idade escolar, antes do catecismo (que não podia faltar naquele mundo), antes de qualquer injunção institucional externa à familiar, muito antes de ler Macunaíma, um dado curioso: elaborei, aos 4 anos de idade, minha única 'teoria', bastante sofisticada por sinal. Dizia à minha mãe, irmã, familiares e vizinhos que: "*antes de nascer, somos estrelas, estrelinhas*". Era meio fanático por elas, vivia olhando-as todas as noites.

Como, na época, pipocavam as recentes teorias da evolução estelar e do universo, frente à vanguarda do conhecimento, eu estava correto com minha 'teoria', apesar dos risos dos presentes. Os *quarks e leptons* que constituem nosso organismo vieram sim das estrelas, conforme a verdade atual em Astrofísica. Cosmologicamente, nossa idade é de alguns bilhões de anos! Se Jung tem razão ou não, é outra história. Por certo, via as coisas da terra e do céu, tentando magicamente associá-las. Fiquei nesta e continuo até hoje, sem 'construir nenhuma outra teoria', mas 'teimoso'.

Faço um corte e volto ao presente. Um dos pontos a ser defendido aqui, a saber, a não dissociação das coisas da ciência com as coisas da tecnologia, a nível pedagógico, relaciona-se com a história que contei e vivi. Outros também, embora menos evidentes, como o '*antes*' da minha teoria infantil; ele não é histórico, mas sim cosmológico. Diferenças de ESCALAS, outro conceito unificador, também são contempladas na Tese. Ao lado dos três já citados, este é ferramenta útil para a busca de unidades estruturadas do conhecimento científico.

APÊNDICE I

P. I A.

(14 págs.)

Parte A: Trechos da Publicação: METODOLOGIA DO
ENSINO DE CIÊNCIAS.

1ª reimpressão

Dados de Catalogação na Publicação (CIP) Internacional
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Delizoicov, Demétrio.

Metodologia do ensino de ciências / Demétrio
Delizoicov, José André Peres Angotti. Colaboração Alice
Pierson... — [et al.]. — São Paulo : Cortez, 1990. —
(Coleção magistério. 2º grau. Série formação do professor.)

Bibliografia.

ISBN 85-249-0272-8

1. Ciências — Estudo e ensino — Metodologia 2.
Ciências — Estudo e ensino (2º grau) I. Angotti, José
André Peres. II. Pierson, Alice. III. Título. IV. Série.

90-1455

CDD-507
-373

Índices para catálogo sistemático:

1. Ciências : Ensino : Metodologia 507
2. Ensino de 2º grau 373
3. Metodologia : Ensino de ciências 507

Demétrio Delizoicov
José André Angotti

Metodologia do Ensino de Ciências

Colaboração:

Alice Pierson, Carlos Alberto Mattoso Ciscato,
Maria Isabel Soncini, Miguel Castilho Júnior, Nelson Orlando Beltran

METODOLOGIA DO ENSINO DE CIÊNCIAS

Demétrio Delizoicov

José André Peres Angotti

Capa e projeto gráfico: Carlos Clémen

Ilustrações de miolo: C. Soares

Coordenação editorial: Ana Cândida Costa

Montagem: Luís Antônio Pinto Barbosa

Preparação de originais: Vicente Cechelero

Revisão: José J. Sobral, Ana Maria Lebeis

Composição: Exite Editora S/C Ltda.

Supervisão editorial: Antonio de Paulo Silva

Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida ou duplicada sem autorização expressa dos autores e do editor.

© 1990 by Demétrio Delizoicov e José André Peres Angotti

Direitos para esta edição

CORTEZ EDITORA

Rua Bartira, 387 — Tel.: (011) 864-0111

05009 — São Paulo — SP

Impressão no Brasil — 1990

Sumário

Apresentação da Coleção	9
Apresentação	11

Capítulo I

Orientações gerais

Introdução	15
Uma proposta	17
O perfil do professor	19
Alguns problemas institucionais	20
A relação com outras disciplinas	20
Técnicas de ensino	21
A experimentação no ensino de Ciências	22
O ensino de Ciências no Brasil	23
A ementa do programa	27
Sugestões para o desenvolvimento do programa	28

Capítulo II

Ciências e a escola

Unidade 1 Ciência(s) e método(s) científico(s)	33
O que é ciência? — Algumas pistas (Tópico 1)	33
O que é ciência? — Mais pistas (Tópico 2)	38
Atividades para os alunos	43
Leituras recomendadas	43

Unidade 2	O ensino de Ciências	45
	Para que estudar Ciências? (Tópico 1)	45
	O ensino de Ciências da 1.ª à 4.ª série (Tópico 2)	50
	Uma metodologia para o ensino de Ciências (Tópico 3)	52
	Atividades para os alunos	56
	Leituras recomendadas	56
Unidade 3	Conteúdo e metodologia indissociáveis	57
	Radiação solar, uma abordagem metodológica (Tópico 1)	57
	Leituras recomendadas	74
	Fotossíntese, uma abordagem metodológica (Tópico 2)	74
	Leituras recomendadas	78
	Combustão, uma abordagem metodológica (Tópico 3)	78

Capítulo III

Ciências, professorandos e crianças

Unidade 4	O universo e a lógica infantis	89
	A criança e seu mundo (Tópico 1)	89
	Um programa de Ciências para as 4 séries iniciais (Tópico 2)	94
	Atividades para os alunos	99
	Leituras recomendadas	99
Unidade 5	Ciências da 1.ª à 4.ª série	101
	I. Alguns pontos críticos (Tópico 1)	101
	Atividades para os alunos	103
	Leituras recomendadas	103
	II. Aulas de Ciências — Comentários (Tópico 2)	104
	Atividades para os alunos	108
	Leituras recomendadas	109
	III. Temas e atividades — Exemplos (Tópico 3)	109
	Atividade 1 — As coisas	112
	Atividade 2 — Eu e as coisas	117

Atividade 3 — Brincadeira com água	123
Atividade 4 — O jogo da simetria	123
Atividade 5 — O tempo	123
Atividade 6 — Os animais	130
Atividade 7 — As plantas	130
Atividade 8 — O que acontece com a comida que comemos	130
Atividade 9 — O corpo humano	130
Atividade 10 — Alimentação	148
Atividade 11 — Ecossistema	155
Atividade 12 — A força da água	162
Atividade 13 — Equipamentos coletivos	162

Capítulo IV

Ciências e outras contribuições para o seu ensino

Unidade 6 — Projetos de ensino e bibliografia	192
Projetos de Ensino	192
Bibliografia	204

Atividade 13

Equipamentos coletivos

Introdução

Roteiro para o trabalho dos 5 temas que compõem esta atividade:

Calendário proposto:	Tema	N.º aulas
	Rede de transportes	4
	Rede de água	3
	Rede de eletricidade	3
	Rede de comunicações	2
	"Síntese"	2 (+2)*

- * Sugerimos utilizar duas aulas extras para esta atividade, trabalhando os textos na disciplina Comunicação e Expressão ou Estudos Sociais.

Objetivos

Apresentar e discutir com os alunos alguns *serviços coletivos* de uma cidade grande. Estimular a observação e a percepção desses serviços. Introduzir elementos de Tecnologia e Ciências Naturais, que facilitam a compreensão desses serviços.

Sistematizar o conhecimento novo segundo características comuns, com as noções de *fluxo, vias e combustíveis*. Extrapolar o conhecimento adquirido da dimensão coletiva para uma dimensão mais global (atividade "Síntese").

Estes objetivos são de caráter mais geral, resumindo o que pretendemos do nosso trabalho; a cada tema, daremos as metas a serem alcançadas, em termos mais específicos.

Metodologia e Conteúdo

O assunto será tratado preferencialmente com discussão em grupos, podendo o professor alternar este trabalho com as exposições sugeridas ou quando julgar mais produtivo e conveniente.

Não propomos experiência em sala, mas estaremos sempre nos referindo a experiências eventualmente realizadas na 3.^a e 4.^a séries. Assim, se necessário, os professores da 4.^a série deverão inteirar-se das experiências e assuntos referidos. Entretanto contaremos com uma experiência fundamental dos alunos que é a sua observação curiosa de fenômenos externos à sua casa e escola. Para estas atividades, será importante:

- ☐ observar um edifício qualquer, em construção;
- ☐ presenciar entregas organizadas de materiais e serviços, como gás e cartas;
- ☐ acompanhar transformações distintas, rápidas ou lentas, grandes ou pequenas.

A seqüência e os conteúdos escolhidos são: rede de transportes, água, eletricidade e comunicações (temas 1 a 4) e uma última (que denominamos "Síntese"), cujo título é: "A vida urbana, as pessoas, a Terra e o Sol".

O detalhamento do conteúdo está basicamente no material para o aluno, com questões propostas e textos breves. No material para o professor faremos, sobretudo, indicações metodológicas e de procedimento, além de pontos a serem reforçados no conteúdo. Esta opção foi adotada tendo em vista o encerramento do 1.^o grau pelos alunos e a necessidade de se fornecer a eles algum material mais denso e contínuo.

No período final é fundamental trabalhar conceitos, fenômenos e relações sob uma perspectiva *dinâmica*, de maneira a se permitir ao aluno a quebra da visão estática e fragmentada do mundo. Quanto às dificuldades, lembramos que a extensão e a modificação de percepção já foi iniciada quando do estudo do território e dos ecossistemas; pretendemos avançar um pouco nesta linha.

Idéias básicas para o estudo

Vamos estudar fenômenos numa dimensão *coletiva* e numa *escala de grande cidade*, ou seja, extrapolar a realidade muito próxima dos alunos.

Para os quatro primeiros temas, há uma proposta comum de tratamento das redes que, embora não esclarecida diretamente nos textos, pode ser percebida depois de leitura e estudo atentos. É claro que os alunos não terão esta percepção direta e clara, precisam da ajuda do professor; mesmo assim, acomodarão os novos conhecimentos segundo os seus níveis cognitivos. Para a sua linguagem e compreensão, é possível localizar nos quatro temas os seguintes elementos principais: a) *vazão* ou fluxo; b) *vias*; c) *combustível*.

- a) *Vazão* de material transportado (carga) por alguns veículos ou *vazão* de água encanada, *vazão* de eletricidade.
- b) *Via* de transporte de carga (uma estrada, um rio) ou *via* de transporte de água (tubulações), ou *via* de transporte de eletricidade (fios e cabos).
- c) *Combustível* do caminhão ou do barco que transporta a carga ou *combustível* para bombear a água pela tubulação (bombas de água), *combustível* que permite a geração de eletricidade (água de barragens, no caso das hidrelétricas).

Para o nosso universo de compreensão, esses três elementos estão contidos essencialmente no conceito de: a) *transformações*; b) *ciclos e regularidades*; c) *energia*.

Isto quer dizer que podemos fazer analogias entre as idéias num nível mais concreto, para os alunos, e noutro, mais abstrato, para nós. Essas analogias não podem e nem devem ser levadas ao extremo, pois os conceitos são de certa forma correspondentes, mas nunca iguais. Assim, fazemos a correspondência entre:

- ☐ transformação e vazão;
- ☐ ciclos e regularidades e vias;
- ☐ energia e combustível.

Os alunos não terão oportunidades de discutir estas questões neste nível, mas poderão perceber muito bem as três idéias que balizam as organizações coletivas. O trabalho humano está localizado no texto nas várias atividades, pois não se pode ter uma compreensão desses serviços coletivos sem este elemento essencial. Cremos que o tratamento mais específico do trabalho humano deve ser feito nos conteúdos das aulas de Estudos Sociais.

No último tema, o assunto é abordado numa dimensão global e na escala de planetas, sistema solar e estrelas. Nele trabalhamos as transformações que ocorrem na Terra dinamicamente e introduzimos para os alunos a correspondência entre "combustível" e energia.

O texto coloca as transformações entre formas de energia por um lado, e também a conservação da energia total do sistema considerado, de forma mais disfarçada.

A interpretação dos textos precisa ser muito bem feita, para que os alunos consigam incorporar as idéias e principalmente os conceitos neles colocados.

É importante que tenhamos bem claro que as transformações, sejam elas naturais ou artificiais, envolvem sempre mudanças da matéria (viva ou não-viva), no *espaço* e no *tempo*. Podem ser desde hipermicroscópicas até hipermacrosscópicas, desde instantâneas até muito lentas ou remotas. Frequentemente nos esquecemos do tempo e isto favorece uma visão bastante estática das coisas e mesmo dos fenômenos que sempre presenciamos e vivemos. Precisamos nos esforçar (nós, professores) para desenvolver cada vez mais esta concepção do mundo em transformação, de maneira a podermos discutir com os alunos nesta perspectiva.

Ao longo dos temas, muito do que tratamos aqui ficará mais claro.

Rede de transporte

Meta: Estudar a rede de transporte, sua função e utilidade. Caracterizar a relação entre veículos, vias e combustível. Diferenciar tipos de veículos, tamanhos e velocidades, bem como diferentes tipos de combustível.

Ao começar, faça uma rápida discussão envolvendo o transporte de alimentos produzidos na zona rural para o meio urbano. Lembre os alunos de que, nas cidades, geralmente não se planta nem se criam animais para o consumo de toda a população.

Solicite a leitura do texto inicial e peça que os alunos respondam às cinco primeiras questões, a partir da sua própria experiência. Estimule a discussão e, nesta etapa, ouça o que eles têm a dizer (ver material para o aluno, adiante).

Segue o modelo de respostas possíveis que dependerá da localização da cidade. Aproveite sempre as respostas dos alunos:

1. Vias terrestre, marítima, fluvial e aérea (conforme a cidade).
2. Acrescente e discuta as vias não mencionadas pelos alunos na resposta à primeira questão.
3. Sugerimos que você monte um quadro e organize as respostas:
terra automóvel, caminhão, ônibus, moto, trem...
mar/lrio barco com motor, navio...
ar avião, helicóptero, foguete, ultraleve...
4. Faça também uma tabela, listando por vias:
terra bicicleta, cavalo, carroça, carro de boi...
mar/lrio barco a vela, barco a remo, jangada...
ar planador, balão a gás, pombo-correio...

Explique que os barcos a vela, hoje usados para esportes e lazer (de fibra), são inspirados nas jangadas de pescadores. Planadores não têm motor, mas podem voar e aterrissar depois de serem puxados por um avião. O avião puxa o planador por uma corda, que é desconectada quando ele alcança uma certa altura. Já balões a gás só são usados para transportar material de pesquisa em certos lugares, e às vezes transportam também pessoas.

A partir da questão 5, abaixo, comece a organizar o conteúdo. É importante ressaltar que numa cidade grande, é fundamental garantir o movimento de pessoas e o abastecimento (movimento de carga).

Os alunos devem ter condições de responder, por meio de discussão, as questões 5 a 8. Ajude, quando necessário.

5. Ônibus, trem, automóvel, avião (carga e pessoas), navios (em geral, carga).
6. Exemplos: confecções (roupas), tecidos, louças, móveis... O veículo de transporte mais usado é o caminhão (cada cidade com a resposta mais adequada).
7. Exemplo: sal, petróleo, máquinas, plástico, remédios, cimento etc. Os veículos de transporte mais usados são os caminhões e navios.
8. Ajude somente se for preciso; deixe os alunos indicarem as linhas. Se necessário, eles devem fazer um levantamento.
9. Idem à questão 8.

Na sequência, faz-se a ligação entre *transporte e combustível*, através de questões e pequenos textos. Ao final faça um reforço da ligação entre transporte e vias. Explique que as vias não são somente terrestres. No mar existem rotas por onde passam os navios. O mesmo acontece no ar para os aviões. Os veículos que andam por vias abertas (mar e ar) possuem instrumentos para manter direções corretas e não se perder. prossiga com as respostas das questões e o debate.

10. Gasolina, álcool, querosene (aviões), óleo combustível (navios e trens), óleo diesel (caminhões).
11. Sempre há necessidade de combustível, mesmo para os veículos não-motorizados. Por exemplo: a bicicleta é movida pela força muscular das pessoas.
12. É o vento, o ar em movimento, que impulsiona as jangadas.
13. Da cana-de-açúcar as vantagens são duas: vem de uma fonte renovável (pode-se plantar cana depois de cada colheita), e é produzido no país (não é importado como boa parte do petróleo consumido no Brasil).

Reforce ao final o que caracteriza uma rede de transportes: *veículos* de vários tipos e tamanhos, que andam em diferentes velocidades e sempre transportam algo (mercadorias e pessoas), o que pode ser entendido como *vazão* (algo sendo transportado, em movimento); *vias*, que podem ser o ar, o mar e a terra, e servem para a passagem dos veículos; e *combustível*, para garantir o movimento dos veículos.

As questões 14 e 15 são sugestões.

14. Forneça o mapa do bairro ou da cidade. Os alunos podem fazer cartazes ou desenhos.
15. Uma redação, se houver tempo em classe ou como tarefa de casa.

Sugestão: Os alunos poderão aproveitar muito uma visita a uma oficina mecânica. Procure providenciar esta atividade. Acompanhe-os e solicite aos mecânicos que expliquem o seu serviço aos alunos e mostrem as peças e o funcionamento de veículos ou máquinas. Outra alternativa é convidar um mestre mecânico para, em sala, discutir com os alunos o funcionamento de um automóvel ou máquina. Quando possível, visitar um hangar, porto, correio etc.

Material para o aluno:

A partir desta atividade, vamos estudar os meios para o abastecimento de uma população numa cidade grande. Começaremos pelos transportes de pessoas e de cargas.

Os alimentos geralmente não são produzidos na cidade. Eles são comprados nas feiras, supermercados. Para chegarem lá, precisam ser transportados por diversos veículos.

A partir desta situação, responda às questões abaixo, junto com o seu grupo. Peça auxílio ao professor, quando precisar.

1. Quais são as vias de transporte usadas na sua cidade?
2. Existem outras vias possíveis para o transporte? Quais?
3. Quais são os tipos de veículos motorizados adequados para cada via de transporte? Faça uma lista, classificando os veículos.
4. Quais são os tipos de veículos não-motorizados utilizados na cidade? E no interior?
5. Quais são os tipos de transportes mais utilizados na sua cidade para transportar pessoas? E mercadorias?

A população das cidades precisa ser abastecida de alimentos, roupas, remédios e muitos outros materiais, como os de construção. Isto é feito todos os dias, dia e noite, através de veículos adequados. As mercadorias são levadas do local onde são produzidas ou fabricadas até as feiras, lojas, farmácias. Assim, podemos comprar essas mercadorias conforme as nossas necessidades e possibilidades.

Alguns produtos são fabricados fora da cidade. Eles vêm do interior, de outros Estados ou mesmo de outros países. Outros são fabricados ou produzidos aqui na cidade mesmo. Mas sempre é preciso transportar esses produtos de alguma forma.

6. Cite alguns produtos, fabricados na sua cidade, que são vendidos para o interior e outros estados. Como eles são transportados normalmente?
7. Cite alguns materiais, produzidos ou fabricados fora da sua cidade, que são comprados e consumidos pela população local. Como eles são transportados normalmente?

O transporte de qualquer produto acaba aumentando o seu preço, porque existem despesas a pagar com o veículo, salários, combustível. Para trabalhar, muitas pessoas precisam de transporte e usam o ônibus, o trem

ou o carro, que é mais caro. Ônibus e trens transportam muitas pessoas (são transportes coletivos), enquanto o carro transporta poucas pessoas ou uma só (transporte individual).

8. Que linhas de ônibus passam pelo seu bairro?

As viagens dentro da cidade são chamadas *urbanas*. Para viagens mais longas, existem outras linhas de ônibus, que fazem a rota para o interior e para outros estados.

9. Quais as principais rodovias do seu estado?

Todos os tipos de veículos, do menor ao maior, precisam de um combustível para funcionar.

10. Quais os tipos de combustível que você conhece? Em quais veículos eles são usados?

11. Os veículos não-motorizados também precisam de combustível? Explique por quê.

12. Qual é o combustível de uma jangada?

Os transportes são muito variados, conforme a quantidade de carga ou de passageiros. Eles são necessários, atualmente, em qualquer região. As pessoas que vivem nas cidades precisam mais frequentemente deles que as pessoas que vivem no campo. As pessoas do campo precisam mais de transporte em certas épocas do ano, para levar os seus produtos para vender na cidade; se não tiverem transporte na hora certa, sofrem grandes prejuízos.

Todos os veículos precisam de combustível para andar, voar, navegar. Os motores dos veículos "queimam" os combustíveis para funcionar. São chamados *motores a explosão*, como os dos automóveis. A queima do combustível é que dá força para o carro andar e transportar pessoas e carga. É um processo semelhante (mas não é igual) à "queima" dos alimentos que fazemos na digestão. Água, oxigênio e comida são "combustíveis" para os seres vivos.

A maioria dos combustíveis são tirados do petróleo (fonte de combustível não-renovável), e o Brasil precisa importar boa parte do petróleo de que necessita. O álcool é um tipo de combustível utilizado no Brasil para automóveis e pequenos veículos de carga.

13. De onde vem o álcool combustível? Existe alguma vantagem em utilizá-lo no lugar da gasolina?

Os navios transportam grandes quantidades de carga, porém não são rápidos no transporte. Em geral, os navios são bem maiores do que os

aviões. Os aviões são rápidos, mas o preço do transporte é muito mais alto. Assim, os aviões não servem para transportar grandes quantidades de carga. O preço e a rapidez são fatores importantes para o transporte de cargas e pessoas.

Outro aspecto importante é a conservação e manutenção das estradas, portos e aeroportos. Tudo isto é feito pelos homens, cada um na sua profissão. Além dos motoristas, pilotos e navegadores, há os técnicos, mecânicos, pintores e outros que trabalham para o bom funcionamento das redes de transporte.

Em algumas cidades como Natal (RN), temos ainda um tipo especial de veículo. São os foguetes lançados na Barreira do Inferno, na região de Natal. Os foguetes são veículos que transportam instrumentos de pesquisa para o espaço. Esses instrumentos servem para a previsão do tempo, para fotografar a Terra do espaço e para estudar a atmosfera. No Brasil ainda não existem foguetes para transportar pessoas (tripulados).

14. Depois de consultar um mapa, desenhe as ruas principais do seu bairro. Mostre os caminhos possíveis de veículos.
15. Toda viagem tem "ida e volta". Escreva alguma coisa sobre esta afirmação.

Rede de água

Meta: Estudar a rede de água, à semelhança do tema anterior. Identificar os elementos determinantes da rede de água. Apresentar a importância da água para a sobrevivência dos seres vivos e dos homens (coletivamente).

Procedimento:

- ❑ Discutir o texto inicial (material dos alunos), ressaltando o fenômeno da "água saindo pela torneira", desde a captação até as residências, e da nossa necessidade da água para sobreviver.
 - ❑ Sugestões de algumas respostas possíveis. Procure sempre aproveitar as respostas dos alunos.
1. Lavar roupa, cozinhar, fazer reboco (misturar água, cimento e areia para construções). Os alunos darão outros exemplos de atividades humanas que envolvem a água.

2. Água salgada: peixes, camarões, caranguejos, lagostas... (animais), algas de vários tipos (vegetais). Água doce: peixes, micróbios, caramujos (animais), aguapé, vitória-régia (vegetais).
3. Ferro, plástico rígido, barro (nas manilhas). As caixas-d'água são feitas de material prensado, tipo britlite.
4. Pelo relógio de água. É um tipo de contador que indica a quantidade de água consumida a cada mês.
5. Por uma grande caixa-d'água (caso geral).
6. Para as fossas ou para os canos de esgoto. A água da chuva corre, forma poças nas ruas ou é recolhida nos bueiros, ligados às tubulações, e deságua nos rios. É interessante discutir neste ponto as inundações.
7. No desenho desta questão basta destacar a caixa-d'água e algumas casas do bairro que deverão estar ligadas à caixa pelas tubulações. Basta também desenhar uma fossa em uma das casas ou a rede de esgotos, quando houver. E também a rede pluvial, se existir.
8. Sim, é combustível, porque os seres vivos precisam dela para terem os seus organismos funcionando bem.
9. Quando não chove durante longo tempo, o ciclo da água é interrompido. Rios secos são uma consequência, porque não são abastecidos pelas chuvas nas suas nascentes.
10. Com auxílio do microscópio. Estes aparelhos fornecem uma imagem ampliada (aumentada) dos microrganismos. Nesses filmes de televisão, são usadas lentes de aumento como as do microscópio e vemos as imagens ampliadas.
11. Porque a eletricidade é produzida a partir de grandes barragens de água. Na seca, as barragens ficam mais vazias e a produção de eletricidade é menor.
12. Oriente o esquema. Discuta o texto a seguir ou faça um resumo, caso o assunto já tenha sido estudado.

Sugestão: visite com os alunos uma estação de tratamento de água no bairro ou na cidade.

Estimule os alunos a observar (inspecionar) uma caixa-d'água (em casa ou na escola). Atenção especial à entrada de água que vem da rua para a caixa, controlada pela bóia (válvula).

Os alunos poderão confeccionar cartazes sobre os assuntos associados ao tema como: papel do cloro e do flúor, água potável, água mineral...

O ciclo da água

O movimento da água na natureza pode ser entendido através dos seus ciclos. Este assunto será discutido pelo professor com a classe. Daremos aqui apenas alguns dados, para ajudar na discussão.

A água se apresenta na natureza em três estados: sólido (gelo), líquido (salgada, doce, potável, impura e totalmente pura) e gasoso (vapor de água, em geral pura).

O Sol aquece a Terra (tanto a parte sólida como a líquida: rios, mares, lagos) e assim, pelo calor, ocorre evaporação da água em grandes quantidades, formando nuvens na atmosfera.

Os ventos deslocam nuvens que, sob certas condições, se precipitam em forma de chuvas. As chuvas enchem de água as nascentes, o solo, as cidades. A água escorre para todos os lados e acaba indo para regiões mais profundas do solo e também para o mar. Enquanto isso, o Sol continua a aquecer a superfície da Terra, mares, rios e lagos...

Ao final da discussão, responda às questões e faça o esquema de *ciclo da água*.

Material para o aluno

Vamos estudar o abastecimento de água de todo o bairro, bem como da sua cidade e região.

Ao abrir uma torneira na escola ou na sua casa, geralmente sai água. Para chegar até essa torneira, a água disponível passa por muitos caminhos. Ela é transportada de uma grande caixa-d'água até as casas, em geral por tubulações grandes e pequenas (canos), localizadas logo abaixo das ruas e construções. Quando necessário, a água é transportada em caminhões-pipas. Isto acontece com mais frequência nas regiões de estiagens e secas do Nordeste, em geral no interior daqueles estados. Você deve saber que, muitas vezes, falta água até para o consumo pessoal e dos animais. As secas provocam problemas sociais sérios, com a quebra de safras agrícolas e a proliferação de algumas doenças.

Água é substância vital, sempre necessária para os seres vivos e o homem. Dependemos dela em quantidade e qualidade para termos uma vida produtiva e saudável. Animais e vegetais também dependem da água para sobreviver. Pensando nisto e no fenômeno da água saindo pela torneira, responda com o seu grupo às questões a seguir:

1. Cite pelo menos três atividades humanas em que se utiliza água.

2. Cite exemplos de animais e vegetais que vivem na água salgada e na água doce.
3. Quais os materiais normalmente utilizados na fabricação de tubulações e canos? E nas caixas-d'água?
4. Como é medido o consumo de água nas residências? (Cada aluno deve verificar ou confirmar em sua própria casa.)
5. Como é feito o abastecimento de água no seu bairro?
6. A água usada e suja das pias, vasos sanitários, chuveiro vai para os ralos. Para onde vai essa água usada nas casas? E a água da chuva, para onde vai?
7. Faça um desenho que mostre o abastecimento de água no bairro, a captação da água usada e suja, e a da água da chuva.

A grande maioria das construções da cidade possui instalações de água. Mas há algumas casas que ainda não possuem essas instalações, mesmo nas cidades.

A água é captada em grande quantidade num rio (água doce). Então ela é bombeada e transportada, através das tubulações e canos, até as estações de tratamento. Depois, é purificada em instalações apropriadas: é filtrada em tanques de camadas de areia e também é tratada quimicamente, com cloro. O cloro é uma substância que serve para purificar a água, eliminando bactérias e microrganismos nocivos aos seres humanos. Algumas vezes adiciona-se também flúor à água das estações, para fortalecer mais os dentes das pessoas e prevenir contra as cáries dentárias. Depois de tratada, a água é distribuída para as casas e construções da cidade.

Além de necessária para a higiene e para muitas atividades humanas, a água é substância essencial ao homem, plantas e animais, para garantir a sua sobrevivência.

A água que bebemos deve ser *potável*, isto é, livre de impurezas e de microrganismos nocivos à saúde. Quando não temos certeza se uma água é potável, é melhor fervê-la antes de beber, para eliminar (matar) os microrganismos que podem provocar doenças. Existem fontes que fornecem água pura e de boa qualidade para se beber. Estas fontes estão localizadas em lençóis de água profundos na terra, e às vezes são exploradas comercialmente: são as chamadas *fontes de águas minerais*, que contêm pequenas quantidades de sais minerais que fazem bem ao organismo. Mesmo a água potável contém também um pouco desses sais minerais. Sempre há peque-

nas quantidades de outras substâncias minerais aproveitadas pelo nosso organismo.

Os alimentos que comemos são misturados à água ingerida e “queimados” na digestão. Os materiais resultantes dessa combustão lenta são distribuídos às partes do corpo dissolvidos em água. Assim, temos muita água em nosso corpo — como no sangue por exemplo. O sangue é um líquido que contém água misturada a outras substâncias que lhe dão a cor vermelha. As veias são vias de transporte para o sangue, e o coração é responsável pelo seu bombeamento.

Tudo isso mostra a importância da água e da preocupação que devemos ter ao consumi-la para beber.

Vamos relembra que a água suja que escorre pelos esgotos ou que vai para as fossas não pode ser misturada às fontes e à água dos rios. Quando isso ocorre, fica muito difícil tratar a água e deixá-la novamente boa para o consumo (beber), com isso pode haver muito prejuízo à saúde de toda a população.

8. A água é também um combustível para os seres vivos? Por quê?
9. Por que no Nordeste muitas vezes falta água no solo? Por que os rios secam durante boa parte do ano?
10. Como podemos ver microrganismos na água? Explique por que muitos filmes de televisão conseguem mostrar esses pequenos seres vivos.
11. Quando há secas prolongadas, às vezes acaba também faltando eletricidade. Por que isso ocorre?
12. Fazer esquema do ciclo da água.

Finalmente, devemos lembrar que a água se movimenta em grandes ciclos, mas também em ciclos menores. Os primeiros são naturais, os segundos artificiais, feitos pelos homens. É o caso das tubulações, do movimento da água tratada nas cidades, que sai dos rios, passa pelas construções e volta aos rios. É o trabalho do homem que produz todos esses ciclos artificiais, aproveitando os ciclos naturais.

Rede elétrica

Meta: A mesma dos temas anteriores, transposta ao novo conteúdo.

Procedimento:

- Faça uma breve introdução ao estudo da eletricidade, a partir das instalações na escola e nas casas — se possível, com experiência. Pre-

pare antes esta discussão com apoio do material anexado ao final deste tema. Monte pequenos circuitos e faça demonstrações.

Solicite aos alunos a leitura do texto e a resposta às três primeiras questões abaixo. Algumas possibilidades de respostas são:

1. Geladeira, rádio, liquidificador, enceradeira.
2. Pelos fios de ligação. Na rua, também por fios e cabos elétricos.
3. Pelo "relógio de luz".

Solicite aos alunos para verificarem em casa onde está o relógio de luz. Peça para descreverem como é e como funciona (faça antes uma verificação de um "relógio de luz", explicando as rotações do disco e a mudança dos dígitos no marcador). O "relógio de luz" é semelhante a um velocímetro, no qual, enquanto a roda do carro gira, o painel indica a quilometragem.

Explique que a cidade é também abastecida de eletricidade, como de água e de produtos transportados; por isso chamamos esses serviços de *rede*. Localize, com os alunos, um transformador de eletricidade que fique próximo à escola.

Discuta com os grupos os principais elementos do esquema. Comente a importância da barragem na produção da eletricidade. Faça uma analogia entre a água que passa pelos canos e a eletricidade que passa pelos fios e cabos. Estamos trabalhando o conceito de *vazão* (o *fluxo*), discutido na introdução.

O esquema dos alunos (que pode ser um cartaz) deve conter a usina geradora, fios de distribuição e construções consumidoras (que podem ser fábricas e casas de comércio, além de residências). Os livros de Ciências mostram estes esquemas: sugira, portanto, uma consulta à biblioteca da escola ou da cidade.

4. Porque os metais são bons condutores de eletricidade. Em geral, os fios são de cobre ou de alumínio. Comente que alguns materiais (como plástico, madeira) são isolantes, isto é, não conduzem a eletricidade.
5. Faça a distinção entre motor a explosão (de carro, ônibus) e motor elétrico. No primeiro caso, temos o combustível líquido (gasolina, álcool); no segundo caso a *corrente elétrica* é o combustível. Comente que, ao ligar a tomada, a corrente, a energia elétrica, passa pelo motor e então ele gira.
6. As pilhas abastecem rádios portáteis e lanternas, enquanto as baterias abastecem apenas o circuito elétrico dos automóveis. Diga que o cir-

cuito dos carros serve para ligar as luzes, o rádio, dar a partida, mas o que faz o carro andar é a gasolina ou o álcool.

Termine com o resumo e uma revisão dos três temas desta atividade.

Sugestões:

Consulte a atividade 12 desta unidade. Solicite aos alunos a construção dos brinquedos lá sugeridos. Basicamente, eles revelam, por analogia, como é possível girar as turbinas (pela força da água) nas usinas hidrelétricas.

Visite com os alunos uma oficina de conserto de aparelhos elétricos. É essencial a observação de motores (por exemplo, de liquidificador, enceradeira) abertos ou desmontados. O técnico deverá explicar o funcionamento e as partes do motor elétrico.

Material para o aluno:

Inicialmente, o professor vai coordenar uma discussão sobre eletricidade e instalações elétricas. Agora, vamos estudar todo o abastecimento de eletricidade em uma cidade, bem como a sua produção.

Quando pensamos em eletricidade, lembramos da luz. A iluminação externa (ruas, jardins, propaganda) e a interna (casas, lojas, fábricas) facilita muito a nossa vida, além de nos dar mais conforto e segurança durante a noite.

Porém, a eletricidade não é só isso. Motores elétricos, aparelhos de som e de TV sempre funcionam ligados a uma tomada, ou com pilhas ou baterias. Estamos sempre perto de alguma tomada elétrica ou de fios na rua.

Responda as questões em grupo e peça orientação ao professor quando precisar.

1. Cite pelo menos três aparelhos domésticos que funcionam com eletricidade.
2. Como a eletricidade chega na sua casa? E nas várias casas de uma rua?
3. Como o consumo (quantidade gasta) de eletricidade é medido nas instalações?

O consumo total das casas, lojas e fábricas do bairro e da cidade é garantido pela rede elétrica. Nas ruas, através de postes e de cabos subterrâneos, os fios são instalados para que passe por eles a corrente elétrica.

Assim, cada construção é abastecida conforme o necessário, e os responsáveis pagam mensalmente por este serviço ao governo.

O esquema a seguir ilustra a distribuição de eletricidade numa região:

Note que, em alguns postes do esquema acima existem transformadores. Eles distribuem eletricidade para os grupos de residências da rua. Mas como a eletricidade chega a eles?

Os transformadores estão ligados a estações de eletricidade em algumas regiões da cidade. Essas instalações, por sua vez, estão ligadas através de grandes linhas de transmissão às usinas geradoras de eletricidade.

No Brasil, em geral, as usinas são hidrelétricas. Quer dizer, elas transformam a força de uma grande quantidade de água em eletricidade. Assim, a água é também importante por mais este motivo: é combustível para a

eletricidade. Quando há grande estiagem, acaba também faltando eletricidade, conforme já discutimos antes.

Orientado pelo professor, o seu grupo fará um desenho que vai mostrar bem este processo de produção e distribuição de eletricidade.

4. Por que os fios são de metal?
5. Que combustível faz funcionar um motor de combustão, como o do automóvel? E um motor elétrico, como o do liquidificador?

Da mesma forma que os veículos precisam de combustível para funcionar (gasolina, álcool, óleo diesel), os aparelhos elétricos precisam da eletricidade para funcionar. A eletricidade é também um tipo de combustível para os aparelhos. Sabemos que além das tomadas, existem as pilhas e baterias elétricas.

6. Complete: a pilha faz funcionar _____;
e a bateria faz funcionar _____

Depois de bastante utilizadas, as pilhas e baterias precisam ser trocadas por novas. Elas podem ser entendidas como "armazéns de eletricidade". Porque, com o tempo, é preciso trocá-las por um novo estoque. Dentro delas, materiais fazem algumas transformações químicas para gerar eletricidade entre os seus terminais. Pense na idéia de combustível. Você pode entender isto de forma parecida com a atividade de transporte.

Fazer, em grupo, um cartaz que mostre a instalação elétrica de uma casa ou escola.

Resumo

Numa cidade grande, existem inúmeras instalações elétricas. A rede elétrica é um equipamento coletivo, que garante a produção e a distribuição da eletricidade para todas as instalações, máquinas e aparelhos elétricos. Fios, cabos, transformadores, aparelhos são todos ligados em rede, a estações e a uma usina. Às vezes podemos ver os fios, como os dos postes nas ruas; às vezes não vemos os fios, pois eles estão embutidos nas paredes ou passam por baixo das ruas, dentro da terra.

É muito importante lembrar que, também neste caso (como nos dos transportes), a eletricidade — a sua produção, serviço e distribuição — é garantida por técnicos, operários e muitos outros profissionais da área. São homens que, num esforço conjunto, garantem o serviço através do seu trabalho.

Experiências simples: Circuitos elétricos

Material: Kit "Instalação Elétrica Residencial", da Funbec.

(Obs.: Na falta do Kit, usar material alternativo; os alunos podem ajudar a encontrar o material.)

Procedimento:

- ❑ Comece a aula colocando uma questão: O que faz com que a lâmpada acenda?
- ❑ Divida os grupos e peça que respondam à questão e que, a partir da observação, façam um esquema de onde estão ligados os fios que acendem as lâmpadas da sala de aula.

Não importa que o esquema não saia perfeito. Faça um apanhado dos resultados dos grupos.

Vamos usar três montagens experimentais. Para cada uma das montagens serão propostas algumas questões, que conduzem à observação e conclusão.

❑ Montagem 1

Material: pilha com suporte, fios, lâmpada de lanterna com soquete.

Esquema:

Questão 1: Por que a lâmpada acende?

Questão 2: De onde vem a eletricidade que faz a lâmpada acender?

□ Montagem 2

Material: pilha com suporte, fios, chave geral (miniatura), lâmpada de lanterna com soquete.

Observar o que acontece quando se fecha e se abre a chave. Observar de perto a estrutura da chave.

Questão 1: Qual a posição da chave para que a lâmpada acenda?

Questão 2: Por que isso ocorre? Descreva o caminho que a eletricidade percorre para chegar à lâmpada.

Questão 3: Para que serve uma chave desse tipo?

□ Montagem 3

Material: Kit "Instalação Elétrica Residencial", da Funbec.

Esquema: Faça a montagem de instalação completa: chave, 2 lâmpadas em paralelo, cada qual com o seu interruptor (ver esquema na página seguinte).

Situações para observação

1. Chave geral aberta/Interruptor 1 aberto/Interruptor 2 aberto.
2. Chave geral fechada/Interruptores 1 e 2 abertos.
3. Chave geral fechada/Interruptor 1 fechado/Interruptor 2 aberto.

4. Chave geral fechada/Interruptor 1 aberto/Interruptor 2 fechado.

5. Chave geral fechada/Interruptores 1 e 2 fechados.

Questão 1: Assinale os nomes dos componentes no esquema abaixo, que representa a montagem observada.

Questão 2: Assinale, no esquema, o caminho que a eletricidade precisa percorrer para acender cada uma das lâmpadas. Para que servem os interruptores? E a chave geral?

Rede de comunicações

Meta: A mesma dos temas anteriores, transposta ao novo conteúdo.

Procedimento:

Inicialmente, discuta com os alunos os significados do termo *comunicação*. O fundamental é explicar que, na comunicação, uma *mensagem* (qualquer) é passada de um *emissor* a um *receptor*. São exemplos:

- ☐ A professora explicando (emissor) aos alunos (receptores) a importância das chuvas (mensagem).
- ☐ Um locutor de televisão (emissor) comentando uma notícia (mensagem). Os receptores são aqueles que assistem ao programa.
- ☐ Um sanfoneiro (emissor) tocando música (mensagem) para ouvinte (receptores).

Ressalte que emissores e receptores não são só pessoas. Muitas vezes a comunicação se dá com o auxílio de máquinas, como os computadores, os aparelhos de rádio e de televisão.

As duas primeiras questões partem da experiência dos alunos. Peça que respondam em grupo. Respostas possíveis:

1. Rádio, telefone, televisão, telégrafo...
2. Um aparelho de televisão funciona com a tomada ligada e também com *antenas*. Comentário para esclarecimento aos alunos: existem as antenas transmissoras (localizadas em pontos altos da cidade) e antenas receptoras ligadas (em cada aparelho).
3. Os alunos deverão saber localizar pelo menos uma antena transmissora. Eles devem escrever o endereço ou o bairro de uma e identificar o canal da emissora.

O texto no material do aluno é um pouco difícil. É preciso ajudá-lo a compreender o mecanismo de funcionamento dos aparelhos através das antenas e das *ondas*. Insista na analogia entre a luz que torna os objetos visíveis, e as outras ondas que não vemos: ondas de rádio, de televisão, do telefone DDD. Comente que as ondas viajam pelo ar, que é uma via aberta, um caminho para elas. O esquema apresentado mais adiante (no item "material para o aluno", p.184) ajuda a fixar o modelo de transmissão-recepção.

Já o texto final é de fácil compreensão e procura agrupar um tipo de comunicação mais tradicional (o correio), com um tipo mais moderno (terminais de computadores). Estimule uma discussão a respeito dos terminais eletrônicos. Em geral, os alunos têm informação sobre isto pela televisão e se interessam pelos terminais. O importante é dizer que esses sistemas são úteis para certas funções, como controle de dinheiro e de contas bancárias, por exemplo. Não são melhores que outros, mas sim rápidos e precisos, sendo mais adequados para alguns serviços. O correio continua sendo muito importante, o mesmo ocorrendo com os demais meios de comunicação.

Encerre esta atividade reforçando a idéia de que as ondas são o "combustível" para os aparelhos eletrônicos e elétricos de comunicação. Exemplos mais visíveis de ondas são: vibração de cordas de violão; ondas responsáveis pelos sinais de comunicação são semelhantes a estas, embora não iguais.

Faça um resumo das atividades que envolvem *redes* (coletivas) existentes nas cidades grandes.

Sugestões

- Consulte o tópico 1 na unidade 3 deste trabalho para um estudo mais completo sobre ondas, adequado para professores, mas que ajuda a preparar o assunto a ser ensinado em nível introdutório.

- ❑ Uma televisão, quando ligada na tomada, mas fora de sintonia, só mostra "chuvisco". Isto ajuda a explicar a sintonia do aparelho com a antena transmissora. O mesmo raciocínio pode ser usado para rádios com "chiado". Nestes casos, os aparelhos não estão captando as ondas; daí afirmarmos que estas, ao lado da eletricidade, são "combustíveis" necessários para o pleno funcionamento dos aparelhos.
- ❑ Visite com os alunos uma oficina de consertos de rádio e/ou televisão. É fundamental que eles observem esses aparelhos por dentro, isto é, as suas partes. O técnico deverá explicar o funcionamento dos aparelhos, sempre de maneira adequada à compreensão dos alunos.
- ❑ *Observação:* Em todas as visitas ou debates mais "técnicos" sugeridos, é sempre interessante caracterizar o *funcionamento* dos aparelhos. Saber os nomes e detalhes das peças e componentes é completamente dispensável, pois não acrescenta nada à aprendizagem dos alunos.

Material para o aluno:

Um outro serviço disponível nas cidades, atualmente muito importante, é o das comunicações. Uma rede de comunicações é instalada para garantir às pessoas facilidade no trabalho, contato com outras pessoas e também lazer e conhecimento.

Responda às questões em grupo:

1. Quais são os aparelhos de comunicação que você conhece?
2. Além de estar ligado na tomada, o que um aparelho de televisão em funcionamento necessita para mostrar uma imagem?

O rádio, a televisão, o telefone são aparelhos que funcionam com eletricidade. O telefone, além do fio, também tem pilhas dentro dele, o que pode ser visto quando se desmonta um aparelho. Para que os aparelhos funcionem, existem ainda as estações transmissoras. Na televisão, escolhemos um canal para assistir a um programa; no rádio escolhemos também um canal (uma emissora) para ouvir um programa. Além da eletricidade, esses aparelhos funcionam com auxílio de *antenas transmissoras*.

3. Localizar na cidade ou região uma antena transmissora de rádio e de televisão.

As antenas transmissoras servem para sintonizar o canal ou a estação desejada. Os aparelhos de rádio e de televisão possuem *antenas receptoras*, enquanto o telefone, em geral, recebe a informação pelo fio. Todos esses aparelhos de comunicação captam ondas geradas por uma antena maior

(transmissora). Nós não vemos estas ondas, mas elas estão viajando pelo ar e se espalham pela cidade e campo.

No aparelho de rádio, a informação que vem através de ondas é transformada em som, que podemos ouvir. Na televisão, as ondas transmitem a informação pelo ar; depois de captadas, as ondas são transformadas em luz na tela, que podemos ver, e som, que podemos ouvir.

O som e a luz são também tipos de onda. Podemos ouvir as primeiras e ver objetos refletidos pela luz nas segundas. Sabemos que tanto o som como a luz se espalham pelo ar, passam por portas, janelas, entram pelas salas e quartos. As ondas invisíveis também fazem isso. Não as vemos nem as ouvimos. Essas ondas também podem ser entendidas como um tipo de "combustível", porque os aparelhos de comunicação precisam delas para funcionar, além da eletricidade.

O esquema que segue mostra como funciona a televisão.

Atualmente, as comunicações são de extrema importância para as pessoas, empresas e governo. Os noticiários e todas as informações importantes para o trabalho são possíveis graças à rede de comunicações. Assim, a televisão não existe só para divertir. Alguns programas educativos devem ser acompanhados, pois ajudam muito a nossa aprendizagem, auxiliando a escola. O professor pode indicar os programas educativos, e os alunos que possuem aparelho de televisão podem e devem assistir a eles quando possível.

Um outro tipo de comunicação mais antigo é o da correspondência (correios), que funciona através dos transportes (aéreo, marítimo e terrestre). Outros tipos, como telex, telegrama, são úteis principalmente pela rapidez no funcionamento. Estes dois últimos funcionam com ligações do tipo elétrico, ou seja, com fios e cabos de interligação. Toda essa rede é também fruto do trabalho do homem.

Nos últimos anos, aparelhos muito sofisticados de comunicação vêm sendo implantados no mundo inteiro, no Brasil e também na sua cidade. Estamos falando dos *terminais eletrônicos e dos computadores*.

5. Existe "caixa eletrônica" na sua cidade? Onde está localizada uma que você já viu? Explique como funciona e para que existem essas caixas.

Existem computadores de pequeno porte, chamados microcomputadores. Eles são hoje vendidos para pessoas que precisam deles e que podem comprá-los. Esses aparelhos ajudam o usuário a trabalhar, controlar as suas despesas e também divertir-se com os "videogames" ou videojogos.

A vida urbana: as pessoas, a Terra e o Sol

Faça uma releitura da introdução desta atividade e localize lá o que pretendemos comentar nesta discussão final. Verifique os aspectos mais importantes de dimensão, escala e visão dinâmica da realidade.

Procedimento:

- Organize a leitura, discussão e interpretação dos textos. Faça resumos com os alunos, a cada trecho, entre as questões. Modelos de possíveis respostas do material do aluno:
- 1. Ciclos artificiais: corrente elétrica (instalação num bairro), viagens de ônibus pela cidade (pontos inicial e final), produção e consumo de álcool combustível (ciclo de produção de álcool a partir da cana) etc. Este último é um "ciclo aberto".

Reforce a importância dos processos tecnológicos e deixe que respondam em grupo à segunda questão.

2. Madeira: mesa, cadeira, tacos de piso etc. Metal: talheres, móveis de aço, canos de água, esquadrias, fios etc. Petróleo: gasolina, querosene, vaselina, plásticos diversos etc. Areia: material de vidro, argamassa para construções.
3. Os alunos recordam: nos textos dos últimos temas e atividades existem vários exemplos de processos de transformação.
4. Combustível.
5. Erupção de vulcões, terremotos, fontes térmicas (de água quente).

Baseie-se no próprio texto dos alunos, para uma discussão sobre *energia*. Em resumo, o importante é caracterizar as formas de energia, como aquilo que transforma as coisas (os materiais) e os seres vivos (crescimento, por exemplo).

Consultar o tópico 2 da unidade 4 deste trabalho para uma boa discussão final sobre movimentos das camadas da terra, sismicidade e tempo biológico e geológico, possibilitando condições de compreensão no encerramento desta atividade.

Material para o aluno:

Desde que você entrou na escola, estudamos vários aspectos da vida humana, dos vegetais e dos outros animais. Tudo isto acontece em nossa cidade, no campo, em outras cidades e na Terra toda. As pessoas da sua cidade têm as mesmas necessidades das pessoas de Londres (na Inglaterra), de Tóquio (no Japão), de Lagos (na Nigéria). Entretanto, elas podem ter aparência diferente da sua devido às diferentes raças, falam línguas distintas, vestem-se de maneira diferente, devido ao gosto de cada grupo e ao clima local. De qualquer forma, têm as mesmas necessidades para sobreviver: precisam comer, fazer digestão, respiram, trabalham...

Vegetais, animais grandes e pequenos também vivem na Terra espalhados por todas as partes, e se adaptam ao clima, à falta ou abundância de água... A Terra, nosso planeta, é um grande terrário onde os homens desenvolvem suas atividades e as outras espécies vivas também. Os *ciclos* de oxigênio, da água e do carbono (todos os seres vivos têm carbono na sua constituição) ocorrem na Terra. São ciclos naturais, de pequena e de grande duração, que não podem ser muito alterados para que o *ecossistema* não seja prejudicado.

Quando se altera o ecossistema, provocam-se danos para a população e para os seres vivos, como a poluição e a devastação de florestas.

Além dos ciclos naturais, existem na terra os ciclos artificiais, produzidos pelo homem.

1. Baseado nos estudos anteriores, citar alguns ciclos artificiais.

O homem trabalha e, como um dos resultados do seu trabalho, transforma a natureza. Os materiais brutos (matéria-prima) são transformados em peças, instrumentos, construções, pavimentos de ruas e rodovias, roupas, alimentos etc. Este processo é chamado *tecnologia*.

2. Complete com pelo menos dois produtos acabados que podem ser fabricados a partir das seguintes matérias-primas: madeira, metal, petróleo, areia.

Os *processos de transformação* estão sempre ocorrendo na natureza, com ou sem a intervenção dos homens. Eles ocorrem também nos organismos vivos, ao nascerem, crescerem, respirarem, se alimentarem, transpirarem, digerirem, morrerem.

3. Cite exemplos de processos de transformação de vários tipos estudados nas 3.ª e 4.ª séries.

4. Complete: para ocorrer qualquer transformação é sempre preciso algum tipo de _____.

Cada combustível pode ser interpretado como uma forma de *energia*, que provoca as mais diversas transformações na natureza.

A *energia* mais o *trabalho* das pessoas são responsáveis pelas transformações artificiais. A energia é responsável somente pelas transformações naturais. A matéria (as coisas) é transformada pela energia (luz, calor, movimento, ondas, eletricidade).

Quase todos os elementos, substâncias e materiais podem ser transformados por meio de algum tipo de energia. Exemplos: Na fotossíntese, é a *luz* (uma forma de energia) que provoca a transformação da seiva bruta em seiva elaborada. Na digestão, é *calor* (uma outra forma de energia) que transforma os alimentos no corpo para que possamos sobreviver. No funcionamento dos veículos, é o *calor* (combustão da gasolina, álcool) que faz girar peças e colocar o veículo em movimento (outra forma de energia). No chuveiro elétrico, é a *eletricidade* (outra forma de energia) que aquece a água (transformação de eletricidade em calor, duas formas de energia). Nos veículos de comunicação, as *ondas* (outra forma de energia) são transformadas em sinais eletrônicos, em som, luz, textos impressos etc.

Nos ciclos naturais ou artificiais, a *energia* (combustível) está sempre presente. O mesmo acontece nos processos de transformação.

Na Terra, mesmo os materiais metálicos estão sujeitos a transformações. É o caso das peças de ferro que enferrujam, principalmente em regiões de maresia. Assim, nada que conhecemos está parado (sempre do mesmo jeito). Todas as coisas (materiais) e todos os seres vivos estão sempre em transformação, em mudança rápida ou lenta; você também está sempre em transformação.

No subsolo, existem tubulações que transportam água e eletricidade, às vezes também gás de cozinha. Outras tubulações transportam água suja (rede de esgotos) e água (rede pluvial). A realidade próxima a nós inclui também o subsolo, embora não possamos vê-lo a toda hora. É lá que estão as raízes das árvores e plantas que nos dão alimentos e as estruturas dos prédios e construções. No subsolo estão também muitos tipos de microrganismos, nocivos e não-nocivos, estão os lençóis de água mineral, lençóis de petróleo e minas diversas, de ferro, ouro, cobre etc.

Nestas camadas do subsolo e nas camadas mais profundas da Terra ocorrem também transformações e ciclos.

5. Cite pelo menos dois fenômenos que mostram transformações nas camadas mais profundas da Terra.

Todos os materiais da Terra estão em movimento. Ar e água se movimentam muito mais, como nos ventos, marés, correnteza dos rios. Na parte sólida da Terra existem movimentos muito pequenos, que não podemos perceber, chamados *abalos*. Alguns instrumentos, chamados *sismógrafos*, são usados para medir esses movimentos.

De vez em quando o movimento de camadas profundas da Terra libera grande quantidade de energia rapidamente, provocando os terremotos. No território do Rio Grande do Norte, em 1986, movimentos desse tipo ocorreram, principalmente na cidade de João Câmara. Este é mais um caso de processo de transformação natural, só que em grande escala, que pode provocar danos enormes à população. Num terremoto, uma grande quantidade de energia é liberada no interior da Terra.

A própria Terra está em movimento em torno do Sol. Isto explica as épocas de verão e inverno, as épocas de chuva e seca, no Nordeste e no resto do país e do mundo.

Já vimos também a importância da luz do Sol para a fotossíntese das plantas. A rigor, todos nós, seres vivos da Terra, dependemos da luz do Sol (energia) para garantir a nossa sobrevivência. Portanto, devemos também voltar para o Sol nosso interesse e estudo sobre a vida e a existência.

O Sol também executa ciclos (voltas) em torno de uma grande região do espaço.

Assim, podemos pensar no título deste último tema de estudo e entender melhor por que as pessoas, a vida urbana e rural, a Terra e o Sol estão de certa forma ligados e sofrendo contínuas transformações.

O combustível do Sol é retirado dele mesmo: ou seja, com o tempo a estrela está queimando e produzindo energia. Isto significa que um dia, quando o combustível solar acabar, não haverá mais luz solar disponível.

É verdade que isto acontecerá um dia, só que daqui a bilhões de anos. Não podemos prever hoje como estará a humanidade nesse futuro, se até lá ela ainda vai continuar precisando do Sol para sobreviver...

(Projeto *Ensino de Ciências a partir de Problemas da Comunidade*, UFRN, Departamento de Educação, Escola Estadual Jorge Fernandes, Natal, RN.)

APÊNDICE I

p. I. B
(13 págs.)

Parte B: Trechos da Publicação: FÍSICA.

Dados de Catalogação na Publicação (CIP) Internacional
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Delizoicov, Demétrio.

Física / Demétrio Delizoicov, José André Peres Angotti ; colaboração Alice Campos Pierson. — São Paulo : Cortez, 1991. — (Coleção magistério. 2º grau. Série formação geral)

Bibliografia.

ISBN 85-249-0286-8

1. Física (2º grau) I. Angotti, José André Peres.
II. Pierson, Alice. III. Título. IV. Série.

90-2432

CDD-530.07

Índices para catálogo sistemático:

1. Física : Ensino de 2º grau 530.07

Demétrio Delizoicov
José André Angotti

Física

Colaboração:
Alice Campos Pierson

FÍSICA

Demétrio Delizoicov

José André Peres Angotti

Capa e projeto gráfico: Carlos Clémex

Ilustrações de miolo: C. Soares baseadas em concepção original de Fernando Menezes

Coordenação editorial: Ana Cândida Costa

Montagem: Lula Antônio Pinto Barbosa

Preparação de original: Vicente Cechelero

Revisão: José J. Sobral, Ana Maria Barbosa, Ceres Vecchione

Composição: Exite Editora S/C Ltda.

Supervisão editorial: Antonio de Paulo Silva

Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida ou duplicada sem autorização expressa dos autores e do editor.

© 1990 by Demétrio Delizoicov e José André Peres Angotti

Direitos para esta edição

CORTEZ EDITORA

Rua Barina, 387 — Tel.: (011) 864-0111

05009 — São Paulo — SP

Sumário

<i>Apresentação da Coleção</i>	9
<i>Apresentação</i>	13

Capítulo I - *Orientações Gerais para o ensino*

Enfoque e tratamento didático do programa	17
Ementa do programa	21
Pressupostos para a elaboração do programa	22
Algumas leituras	26
A organização do trabalho docente	27
Texto introdutório	27
Unidades e tópicos	28
Material didático disponível	31

Capítulo II - *O início do programa*

Produção, distribuição e consumo de energia elétrica	37
Bloco de orientações	55
Por onde continuar?	67

Capítulo III - *O desdobramento do programa.*

UNIDADE 1 - *Queda D'água*

Tópico 1 Massa, peso e campo gravitacional	71
Tópico 2 Medidas de força, leis de Newton	79
Tópico 3 Quantidade de movimento linear	83

Ementa do Programa

Unidades e Tópicos

UNIDADE 1 — *Queda-d'água*

- Massa, peso e campo gravitacional (tópico 1)
- Medidas de força — Leis de Newton (tópico 2)
- Quantidade de movimento linear (tópico 3)
- Trabalho e energia (tópico 4)
- Potência (tópico 5)

UNIDADE 2 — *Roda-d'água*

- Fluidodinâmica (tópico 1)
- Rotações (tópico 2)

UNIDADE 3 — *Ciclo da água*

- Radiação solar (tópico 1)
- Calor como forma de energia (tópico 2)
- Efeitos da troca de calor (tópico 3)
- O calor trabalha — máquinas térmicas (tópico 4)

UNIDADE 4 — *Energia elétrica*

- Aparelhos elétricos (tópico 1)
- Aparelhos resistivos (tópico 2)
- Modelo microscópico (tópico 3)
- Circuitos elétricos (tópico 4)

UNIDADE 5 — *Geradores e dinamos*

- Ímãs e corrente elétrica (tópico 1)
- Indução eletromagnética (tópico 2)

UNIDADE 6 — *Transporte de energia*

- Fenômenos ondulatórios (tópico 1)
- Transporte de energia com e sem transporte de matéria (tópico 2)
- Energia, matéria e ondas (tópico 3)
- Energia solar e a Terra: fusão nuclear (tópico 4)

UNIDADE 6

TRANSPORTE DE ENERGIA

Nesta sexta unidade, a proposta é a de retomar algumas interações entre matéria e radiação, de modo a apresentar situações que transcendem o domínio da Física clássica, necessárias à compreensão global dos fenômenos discutidos ao longo do curso, com a introdução da relatividade e da Física Quântica.

Tópico 1 Fenômenos ondulatórios

Núcleo:

Propriedades fundamentais das ondas quando de sua interação com a matéria, a saber, reflexão, refração, noções de difração, interferência e polarização, tendo como base as ondas eletromagnéticas e em particular a luz.

Objetivos:

Enunciar as leis da reflexão e da refração.

Caracterizar os fenômenos de difração, interferência e polarização de ondas.

Identificar os fenômenos ópticos nos instrumentos mais simples e descrever o seu princípio de funcionamento.

Orientações:

Problematização inicial

- Proponha que os alunos discutam as semelhanças entre o olho humano e a câmara fotográfica.
- Como funciona, por exemplo, um projetor de *slides*?
- Como podemos decompor luz branca nas suas componentes?
- Por que vemos imagens "corretas" num espelho plano e "deformadas" em espelhos curvos?
- Um lápis parcialmente mergulhado num copo com água parece quebrado. Explique por quê.
- É possível uma situação concreta em que "luz mais luz = escuro"?

Organização do conhecimento

Este tópico condensa vários assuntos de óptica.

Prepare a discussão e algumas demonstrações sobre reflexão e refração de ondas, em particular da luz.

Discuta as leis básicas destes dois fenômenos e suas expressões matemáticas; conceitue refringência e índice de refração.

□ *Reflexão:*

- a) Apresente e discuta a lei da reflexão. É preferível obtê-la experimentalmente a explorá-la demasiadamente com "feixes e raios luminosos, objetos e imagens de quadro-negro".
- b) Caracterize imagens reais e virtuais; as primeiras podem ser projetadas num anteparo.

□ *Refração:*

- a) Apresente e discuta a lei da refração, com abordagem semelhante à da lei da reflexão. A lei da refração pode ser obtida experimentalmente, através de alfinetes e um semicírculo de vidro ou de plástico com água.
- b) Conceitue refringência e índice de refração, associando-o à mudança de velocidade da luz com a mudança de meio (bem como do seu comprimento de onda), enfatizando que a frequência permanece a mesma.

A seguir, discuta as propriedades de *difração e interferência* da luz. Neste caso, é interessante fazer analogias com os fenômenos bastante comuns de difração e interferência de ondas na superfície da água. A difração sonora também é compreensível, porque os alunos percebem a mudança de direção das ondas ao passarem por um anteparo do tipo janela, porta. Isto permite que o som emitido por uma fonte qualquer possa ser ouvido por uma pessoa em posição atrás de anteparos.

Ao final, apresente e discuta a polarização da luz, enfatizando que este fenômeno só ocorre para ondas do tipo transversal. Sugerimos o uso de polarizadores para demonstração, se possível.

Aplicação do conhecimento

Discuta o arco-íris e as auroras (boreal e austral).

Discuta principalmente os instrumentos ópticos: lupa, projetor de slides, microscópio, telescópios de reflexão e de refração.

Os alunos podem construir uma câmera fotográfica.

Prepare a discussão com o auxílio das seguintes referências:

PSSC. *Física* (parte 2, caps. 11 a 18, principalmente).

CENP. *Subsídios para a Implementação do Guia Curricular de Ciências* (caderno III, Secretaria de Educação de São Paulo, 1979).

GRAF. *Óptica Geométrica* ("Instrumentos ópticos", texto 2).

Leituras recomendadas

ARAÚJO, C. & LEITE, J. "Luz e Matéria — As Surpresas da Interação."

BARROS, F. S. "Luminescência, da Alquimia à Época Moderna."

DASSALO, J. M. F. "A Crônica da Óptica Clássica."

LUNAZZI, J. "Holografia — A Luz Congelada."

TRAGTEMBERG, M. "As Belezas do Arco-Íris e Seus Segredos."

GONZALEZ, W. D. et alii. "Auroras."

Tópico 2 Transporte de energia com e sem transporte de matéria

Núcleo:

Noção de fluxo, material em movimento de translação, rotação, independentes ou combinados e de fluxo energético. Modelos e interpretações, universos micros e macroscópicos.

Objetivos:

Relacionar fenômenos estudados em tópicos anteriores. Identificar elementos essenciais do transporte de energia. Exemplificar, a partir da síntese de estudos anteriores.

Orientações:

Desenvolva o tópico através de exemplos, obtidos e extraídos do programa anteriormente estudado. O professor deve retirar questões para a *problematização inicial* e *organizar o conhecimento* a partir das informações a seguir.

Transporte de energia com transporte de matéria

Um corpo cai: massa que tem energia de posição (potencial gravitacional), sob ação do campo gravitacional, perde altura com aceleração constante (da gravidade) e simultaneamente ganha energia cinética. É o caso da água na represa, do bate-estacas etc., e estes movimentos reais não são conservativos.

Transporte de produtos e de pessoas, como o transporte de cartas pelo correio: massa é transportada por algum veículo (que funciona com algum combustível), adquire energia cinética de translação e é levada ao local de destino. Enfatize o fluxo (de massa-matéria) e o necessário consumo de combustível, além do sistema de organização humano (rede de distribuição e abastecimento).

Carga elétrica em movimento e em repouso: transporte de energia com movimento preferencial de partículas (massa), através de perturbações (com carga elétrica total diferente de zero) — material químico (íons), pilhas e baterias; elétrons livres, em condutores e em espaço eletrolítico (entre capacitores), por campo magnético produzido por ímãs e por corrente elétrica, por movimento de rotação de bobinas através de campos magnéticos variáveis (ou de variação de fluxo), conforme desenvolvido no tópico 3, unidade 4. Enfatize que: carga elétrica em repouso cria e interage com campo elétrico; carga elétrica em movimento uniforme (vetor velocidade constante) cria e interage com campo de indução magnética; campos elétrico e magnético, sob certas condições, criam campos magnéticos e elétricos (leis de Ampère e Faraday); cargas elétricas aceleradas (com velocidade variando, de qualquer maneira) criam campo eletromagnético. Este é o princípio das fontes de ondas eletromagnéticas. Assim, na fonte (cargas elétricas aceleradas, por exemplo em antenas, em oscilação) temos a produção de ondas eletromagnéticas, forma de energia que pode viajar (propagar-se) no espaço (mesmo no vácuo).

Transporte de energia sem transporte de matéria: ondas

Retome o Sol como exemplo de fenômeno natural (tópico 1, unidade 3).

Exemplos tecnológicos, telecomunicações, principalmente: rádio, televisão, informações via satélite, telefonia por DDD e DDI (reflexão de ondas na atmosfera, tropodifusão).

Fibras Ópticas. Reproduções de gravações em áudio e em vídeo (som e luz).

Para desenvolver esta parte, consulte:

GREF. *Eleticidade* (texto 10).

Como funciona.

RAMALHO. *Conceitos de Física* (vol. 3).

Aplicação do conhecimento

Organize uma síntese. Para transporte de energia, com ou sem transporte de matéria, temos sempre:

- 1) *fluxo, de material ou de ondas*, com consumo de algum "combustível". Por exemplo: combustão de álcool ou diesel nos veículos automotores; energia obtida dos geradores nas hidrelétricas; energia para acelerar as partículas nas fontes de ondas eletromagnéticas.
- 2) *via de transporte*, que conecta os pontos de *partida* e de *chegada* da matéria e/ou energia. Pode ser uma estrada, uma rota aérea ou marítima, a atmosfera, fios de condutores, o espaço (vácuo), por onde caminham materiais e/ou sinais e/ou informações.

Leituras recomendadas

FIGUEIREDO, A. & TERRAZAN, E. "O Laboratório em Casa — Rádio Galena."

PACHECO, J. A. F. "Vento Solar e Ventos Estelares."

Tópico 3 Energia, matéria e ondas

Núcleo:

Introdução às noções de Física Quântica: dualidade onda-partícula.

Objetivos:

Citar fenômenos não explicados pela Mecânica e Eletromagnetismo clássicos. Caracterizar radiação corpuscular e eletromagnética. Escrever a relação entre energia e frequência de "ondas". Escrever a relação entre quantidade de movimento e comprimento de onda de "partícula". Resolver problemas de fixação e aplicação.

Orientações:

Problematização inicial

Este assunto normalmente não é tratado no 2º grau, porém é cada vez mais comentado por outros meios de educação não-formal, como revistas, jornais, televisão. Sugerimos que sejam levantadas algumas questões para discutir com os alunos que eventualmente já tenham tido contato inicial com esses temas. Do contrário, o professor deve introduzir pontos importantes, antes de comentar propriamente os assuntos do tópico. A discussão deverá basear-se em:

- limitações das teorias clássicas da Física, que originaram no começo do século as teorias da relatividade (restrita) e da mecânica quântica (ver o bloco (T) de orientações para o texto introdutório);
- modelos atômicos, desde os gregos até o “átomo de Bohr”.
Esses modelos não foram incluídos neste trabalho porque, normalmente, fazem parte do conteúdo de Química no secundário. Neste projeto, a proposta de Química inclui os modelos atômicos e os alunos, de alguma forma, já tiveram contato com eles. A melhor questão a propor é: no modelo de Bohr, os elétrons estão em órbita, obedecendo às regras de ocupação das camadas eletrônicas. Assim, estão acelerados e, de acordo com a teoria eletromagnética clássica, não são estáveis, pois carga elétrica acelerada deve necessariamente emitir radiação eletromagnética (ver tópico 2, unidade 5 e bloco (O) de orientações). Como explicar, então, que estejam em órbitas estáveis? (Volte às limitações, lembre os postulados de Bohr e a quantização.);
- limite de velocidades para as partículas; de acordo com a teoria clássica da Mecânica, não existe limite para a velocidade de uma partícula. Isto pode ser verificado pela expressão da energia cinética: $E_c = 1/2 m.v^2$

As experiências confirmam isto? Comente a velocidade-limite, de acordo com o postulado de Einstein (1905) para a teoria da relatividade restrita;

- Pergunte aos alunos: — Por que os materiais coloridos desbotam com o tempo? — Como funciona uma fotocélula?
- encerre a discussão, enfatizando as reformulações profundas nos conceitos da Física clássica a partir do início deste século — um exemplo de construção e evolução científicas, no qual novas teorias mais abrangentes sucedem outras, mais limitadas. No caso da Física clássica temos: limites de validade do domínio das partículas (átomos, elétrons, prótons) e no domínio das velocidades próximos à da luz (Física de alta energia).

Organização do conhecimento

Retome os elementos essenciais do tópico 1, unidade 3, onde se discutiu a radiação eletromagnética a partir do fenómeno do aquecimento da água na Terra pelo Sol.

Caracterize radiação corpuscular para partículas muito pequenas, baseando-se no texto que segue.

Radiação corpuscular

Constituída de um feixe de partículas elementares ou núcleos atômicos, tais como elétrons, prótons, nêutrons, mésons π , dêutrons. A energia cinética destas partículas de massa m e velocidade v é dada por $E_c = \frac{1}{2} m.v^2$ (como os alunos já sabem). Em geral, esta expressão é válida, à exceção de partículas com velocidade a partir de 10% da velocidade da luz, o que só ocorre nos grandes aceleradores de partículas. Por exemplo, um feixe de elétrons que atinge a tela de um televisor tem velocidade da ordem de 10^6 m/s, e podemos calcular a sua energia cinética por aquela expressão. Pedir aos alunos que calculem, converter a unidade para elétron-volt. Lembrar que, em Química, esta unidade é usada normalmente. Insistir que, pela expressão clássica, um elétron pode ter qualquer velocidade (maior que a da luz), mas que isto não é verificado na prática.

Radiação eletromagnética

Rediscuta os aspectos básicos das ondas eletromagnéticas e a relação $v = \lambda \cdot f$, onde v é a velocidade de propagação (no vácuo c), λ é o comprimento da onda e f é a frequência. Retome alguns exemplos (tópico 1, unidade 3).

A teoria dos quanta

Sua formulação foi iniciada por Max Planck (1901) e Albert Einstein (1905). Segundo esta teoria, a radiação eletromagnética é emitida de uma fonte e se propaga descontinuamente em pequenos pulsos de energia, chamados "pacotes de energia", quanta ou fótons. Deste modo, as ondas ele-

tromagnéticas assumem também um caráter corpuscular. Este modelo foi introduzido porque o modelo ondulatório não conseguia explicar satisfatoriamente fenômenos que passaram a ser analisados a partir de 1901, com Planck e posteriormente Einstein.

Fótons são partículas sem carga e massa de repouso nula; portanto, partículas bastante especiais quando comparadas com o próton ou o elétron, por exemplo. A expressão "massa de repouso" é necessária aqui, embora ainda não seja possível decodificá-la totalmente para os alunos (ela será tratada no próximo tópico). Planck postulou que os fótons, associados a uma frequência particular (de luz, raios X, raios gama), possuem energia E , diretamente proporcional a f , isto é:

$E = h \cdot f$, onde h é uma constante universal, chamada Constante de Planck, cujo valor é:

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$\text{ou, também, } 4,15 \cdot 10^{-15} \text{ e V} \cdot \text{s}.$$

Discuta a ordem de grandeza de h e seu valor extremamente pequeno.
Questões:

Expressar a energia de fótons em função do comprimento de onda.

Calcular a energia de fótons: a) de luz amarela, com frequência de $6 \cdot 10^{14}$ Hz; b) de raio X, de comprimento de onda $1,0 \text{ \AA}$. Para comparação, em termos de ordens de grandeza, sugerimos calcular classicamente; c) a energia de uma bola de futebol de $0,5 \text{ kg}$ e velocidade 10 m/s ; d) a energia necessária para uma pessoa de 60 kg dar um salto vertical de 40 cm .

Dualidade onda-partícula

Em 1924, Louis de Broglie apresentou a teoria segundo a qual a matéria possui tanto características corpusculares como *ondulatórias*. Portanto, por um lado, as ondas têm propriedades corpusculares (fótons) e também as partículas (elétrons, prótons etc.) revelam comportamento ondulatório. Experiências de difração de elétrons em cristais comprovaram, pouco tempo depois, a hipótese de De Broglie (Davisson e Germer, 1927). A relação matemática da proposição é escrita da forma:

$$m \cdot v = h / \lambda$$

onde h é a Constante de Planck e λ é chamado de comprimento de onda de De Broglie.

O produto $m \cdot v$ é a quantidade de movimento linear da partícula (tópico 3, unidade 1) e caracteriza a natureza corpuscular da matéria, enquanto a relação h/λ caracteriza a natureza ondulatória, pois λ é o comprimento de onda associado ao corpúsculo (tópico 1, unidade 3). Problema:

Determinar o comprimento de onda de De Broglie para um elétron com uma velocidade de $2 \cdot 10^7$ m/s. Comparar o resultado com o comprimento de onda de um raio X de $\lambda = 1,0 \text{ \AA}$.

Aplicação do conhecimento

Retome as questões iniciais, indicando algumas leituras para que os alunos possam fazer discussões e seminários. Do ponto de vista tecnológico, lembre que um microscópio eletrônico é uma aplicação baseada nas propriedades ondulatórias do elétron.

Quanto à radiação solar na Terra, lembre que, à exceção dos raios de altíssima energia (radiação γ ou fótons nucleares), praticamente todos os componentes do espectro eletromagnético (fótons) são emitidos pelo Sol e atingem a Terra.

Leitura recomendada

Texto-base: OKUNO, E.; CALDAS, I. L. & CHOW, C. "Conceitos Básicos sobre Radiação." In: *Física para Ciências Biológicas e Biomédicas* (cap. 1, seções 1.1 a 1.5).

Outras leituras

BROWN, H. "A Estranha Natureza da Realidade Quântica."

MUNIZ, R. & LOBO, R. "Radiação de Síncrotron."

CLARO, F. "Efeito Hall Quântico."

Tópico 4 Energia solar e a terra: fusão nuclear

Núcleo:

Quadro de distribuição da energia solar na Terra; comparação com fontes de energia não-solar; exploração das ordens de grandezas. Reação nuclear de síntese de hélio no Sol.

Objetivos:

Indicar ordem de grandeza de energia incidente e acumulada na Terra, a partir do Sol. Descrever reações nucleares com liberação de energia resultante da fusão no Sol. Identificar energia liberada na fusão com perda de massa solar. Aplicar numericamente os conceitos e novas relações em um exemplo.

Orientações:

Problematização inicial

- ☐ O que é um planeta? O que é uma estrela?
- ☐ De onde vem a energia das estrelas?
- ☐ Qual a idade do Sol e da Terra?
- ☐ A radiação nuclear é útil ou perigosa?
- ☐ O Sol será eterno ou deverá se extinguir?
- ☐ O que é fotossíntese? De que ela depende?
- ☐ De onde vem a energia acumulada nos combustíveis fósseis? Em quanto tempo pode ser formada uma jazida de petróleo ou de carvão?

Organização do conhecimento

Neste tópico pretendemos “fechar” o ciclo da dependência do homem e dos seres vivos em relação ao Sol, assunto igualmente não tratado, em geral, nos cursos secundários. Assim, estará também concluída a temática central proposta neste trabalho: produção, distribuição e utilização de energia elétrica.

Inicialmente, sugerimos uma retomada das questões centrais que viabilizam uma usina hidrelétrica. O professor deve usar o texto introdutório deste trabalho para essa colocação.

A seguir, apresentamos alguns dados fundamentais para o desenvolvimento deste tópico. As informações aqui contidas são suficientes, embora não esgotem o assunto.

O Sol é responsável por mais de 99% do balanço energético da Terra. Da energia solar incidente decorrem, em escalas de tempo breves até geológicas, a biomassa, os combustíveis fósseis e vegetais (como o álcool), as energias hidráulica e eólica.

Como muitas outras estrelas (que, conforme a sua idade, assumem características diferentes), o Sol é muito quente, com temperatura média na superfície de 6 000 K, chegando a cerca de $2 \cdot 10^7$ K na sua região central. Nesta temperatura elevadíssima (a interna), a matéria solar não é mais constituída de átomos (a energia supera em muito a energia de ligação atômica), mas sim de núcleos e elétrons separados, num estado que chamamos *plasma*. Nestas condições, ocorrem reações *nucleares*, e não químicas, também pela ordem de grandeza da temperatura e da energia. Portanto, quando dizemos que o Sol está queimando, fazemos apenas uma analogia, pois, a rigor, não se trata de combustão, no sentido químico da energia térmica (unidade 3 deste livro). A origem da energia solar é, portanto, *nuclear*. As reações nucleares mais importantes que ocorrem no Sol podem ser descritas pelo seguinte modelo de cadeias de reações:

Estas equações podem ser discutidas com os alunos, que já têm alguma familiaridade com esta linguagem e simbologia da Química. De qualquer forma, esclareça os dígitos à esquerda de cada elemento. Mostre a conservação dos números de massa.

Inicialmente, dois núcleos de hidrogênio (dois prótons ${}^1_1\text{H}$) reagem, formando um átomo de hidrogênio (${}^2_1\text{H}$), um pósitron (e^+), que é um "elêtron" de carga positiva, e um neutrino (ν). Um átomo de hidrogênio se funde com outro próton, formando isótopo de hélio (${}^3_2\text{He}$), e fótons γ . Finalmente esses núcleos de hélio se fundem, formando o núcleo do isótopo normal (estável) de hélio (${}^4_2\text{He}$) e liberando também prótons (${}^1_1\text{H}$) para novas fusões.

Todos esses processos liberam grande quantidade de energia que, nesta série, é da seguinte ordem:

$$26 \cdot 10^4 \text{ eV, ou } 26 \text{ MeV}$$

A figura a seguir representa esquematicamente a fusão do hidrogênio em hélio.

O neutrino (ν), partícula sem carga elétrica (de massa de repouso nula, à semelhança do fóton), interage fracamente com a matéria e emerge do Sol, levando cerca de 10% da energia emitida. O pósitron (e^+), partícula igual ao elétron (com carga de mesmo módulo, porém positiva), pode interagir com o elétron, dando origem a dois fótons γ e aniquilando-se. Esta é uma reação de partículas produzindo energia de radiação, no interior do Sol. A radiação γ produzida interage com a matéria solar (que contém átomos até mesmo de elementos pesados, como o Ferro, em pequena proporção). Ao chegarem à superfície, os fótons já não são mais do tipo γ , pois perderam energia nas interações internas. Eles constituem essencialmente frequências na faixa do visível (luz), além do infravermelho e do ultravioleta. Essa radiação atinge a Terra, depois de viajar cerca de oito minutos, dando origem (lembrar das escalas de tempo) a outras formas de energia, estudadas ao longo do curso.

O quadro 4, adiante, deve ser então explorado com os dados numéricos. O professor deve trabalhar as ordens de grandeza, lembrando que a unidade é de potência, ou seja, de watts (joule/segundo).

Aplicação do conhecimento

Faça uma discussão com os alunos, explorando diferentes situações:

- 1) No processo de reações nucleares, o Sol tem uma perda de massa que é responsável pelo aparecimento de grandes quantidades de energia. Assim, a liberação de energia ocorre na fusão nuclear devido à perda de massa. Esta é uma das relações da relatividade, escrita na forma:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

É por isso que, em relatividade, devemos falar em massa de repouso (m_0) das partículas e dos corpos, pois a massa identificada com energia tem valor relativo, conforme a sua velocidade, que também varia com o referencial adotado (inercial ou próprio). Lembrar que os fótons (tópico 2 desta unidade) não têm energia de repouso, à semelhança do neutrino.

Exemplo de reação nuclear:

massa total inicial = 4,028200 u.m.a.

massa total final = 4,024695 u.m.a.

1 u.m.a. = $1,66 \times 10^{-27}$ kg

1 MeV = $1,6 \times 10^{-13}$ J

Determinação da energia libertada:

$\Delta m = m_f - m_i = 0,003505 \text{ u.m.a.} = 5,82 \times 10^{-30} \text{ kg}$

$\Delta E = mc^2 = 5,82 \times 10^{-30} \times 9 \times 10^{16} \text{ (J)}$

$\Delta E = 5,238 \times 10^{-13} \text{ J} = 3,27 \times 10^{-1} \text{ MeV}$

$\Delta E = 3,3 \text{ MeV}$, resultante de

$\Delta m = 5,82 \times 10^{-30} \text{ kg}$

Fonte: OKUNO, CALDAS & CHOW. *Física para Ciências Biológicas e Biomédicas*. Cap. 13, seção 13.3.2; cap. 12, seção 12.3.

Leituras recomendadas

ALVARENGA, B. & MÁXIMO, A. "A Relação Massa-Energia." In: *Física*, vol. 2.
WEISSKOPF, V. F. "A Escada Quântica." In: *Indagação e Conhecimento*, cap. 7.

2) Escalas: relação entre temperatura e energia.

3) Escalas: estados eletrônicos (a) e estados nucleares (b).

Na

a)

Estados eletrônicos

Na

b)

Estados nucleares

4) Quadro: fluxos de energia na Terra.

(Extraído de Física para Ciências Biológicas e Biomédicas, cap. 12.)

CAPÍTULO IV

**Temas de Estudo,
Bibliografia e
Projetos de Ensino**

Apresentamos, a seguir, alguns temas para estudo e discussão sobre questões de Física e suas aplicações tecnológicas, assim como a bibliografia e os projetos de ensino. Essa unidade final enriquece nossa proposta para o curso de Física no 2º grau e lança desafios aos professores para, cada vez mais, implementarem suas reflexões e intervenções.

Temas de estudo

Ciência e tecnologia permeiam diariamente as nossas vidas. O conhecimento, em Física, pode nos ajudar muito a compreender fenômenos e resultados recentes e antigos da tecnologia. Apresentamos algumas sugestões para o professor refletir e, junto a colegas de profissão e interessados, estabelecer uma situação, um clima de estudos em sua cidade ou região. Boa parte dos temas pode ser trabalhada com os alunos, em atividades extraclasse, ou seminários de estudo em sala de aula. A bibliografia contém elementos para a organização dos trabalhos, bem como referências de publicações e periódicos (em especial *Ciência Hoje*). Para os alunos, além das obras citadas ao longo deste livro, pode-se estabelecer um início de estudos com o apoio de enciclopédias e publicações, do tipo *Como Funciona*, por exemplo.

O objetivo dessas sugestões é a apreensão de maior conhecimento ligado às grandes questões da Física atual e também da sua história, através de uma abordagem temática, assim como a discussão das aplicações tecnológicas, tanto tradicionais como contemporâneas. Professores podem estender a lista, seja pelos seus interesses, seja pela evolução científico-tecnológica e suas relações com a sociedade.

Sugestão de temas de estudo e discussão

Acidentes nucleares

Aeroplanos, jatos e foguetes

A natureza da luz, o modelo ondulatório e o corpuscular

A natureza do calor e o princípio da conservação da energia

Aplicações de Energia Nuclear

A síntese de Maxwell

Carta dos núclídeos

Ciência a
Ciência e
Ciência gn
Ciência ori
Conservação
Copérnico e a revolução heliocêntrica
Corrente alternada
Descoberta do elétron e primeiros modelos atômicos
Dimensões: de fêrmios a parsecs
Durações: de milionésimos de segundo a bilhões de anos
Experiência de Rutherford e modelos atômicos nucleares
Faraday e a noção de campo
Fenômenos de maré
Ferramentas e seus princípios de funcionamento
Fótons e evidências do comportamento corpuscular da radiação
Fractais
Fusão nuclear a frio?
Galileu e o surgimento do pensamento científico
Hertz e a produção de ondas de rádio
Inércia e referenciais inerciais
James Watt e as origens das máquinas a vapor
Laser, fibras ópticas e hologramas
Microcomputadores e microprocessadores, linguagens de máquinas
Microscópios (do óptico ao de tunelamento)
Motor a explosão e motor elétrico
Movimento orbital da Terra, planetas e satélites
Nascimento, vida e morte das estrelas
Newton, Descartes, Huygens e o seu tempo
O campo elétrico e o campo de indução magnética
O corpo humano e energia
O início da era da eletricidade
Origens da teoria da relatividade
Origens da Teoria Quântica
Partículas e evidências do seu comportamento ondulatório
Placas tectônicas e deriva continental; sismicidade
Princípios da conservação da quantidade de movimento linear e angular

Pulsares e quasares
Quarks
Radiatividade, aplicações diversas e efeitos indesejáveis
Refrigeradores
Relógios da Natureza: físicos, químicos e biológicos
Supercondutividade
Superfluidez
Táquions?
Teoria das cores
Teorias substituídas e sua base material: logístico e calórico
Telescópios (da luneta ao "Hubble")
Termômetros na História
Usinas termoelétricas, em particular, usinas nucleares

Sugestões para estudos de professores através de
associações entre tema e um autor
(não necessariamente o único) a ele ligado

Big Bang (Gamow)
Complementaridade (Bohr)
Empirismo (Karnap)
Física moderna e filosofia oriental (Capra)
Geocentrismo (Ptolomeu)
Geometrias não-euclidianas (Gauss)
Incerteza (Heisenberg)
Mésons (César Lattes)
Ordem, desordem (Prigogine)
Ordens implícitas (Bohm)
Paradigmas (Kuhn)
Quatro elementos (Aristóteles)
Realismo (Langevin)
Refutações (Popper)
Teorias unificadas (Gell-Man)

Florianópolis, abril de 1989.

APÊNDICE 2

pp. 105

Collega Professor,

Peço que responda, preferencialmente em equipe, as questões do questionário anexo.

Sei que isto requer a sua paciência e tolerância, porém não dispomos de dados atualizados sobre o ensino de física básica para alunos da carreira de engenharia, objeto desta enquete.

Os dados colhidos servirão para obtermos uma visão panorâmica desta atividade, detectarmos esforços que vem sendo empreendidos para implementar o ensino de física enquanto conhecimento fundamental para o exercício de uma profissão, bem como as ênfases regionais e eventuais tendências de mudanças de conteúdos e metodologias.

Serão também tratados sistematica e analiticamente em trabalho de doutoramento na área de ensino de física que estou empenhado, com posterior divulgação.

Agradeço sua colaboração.

Atenciosamente, coloco-me à disposição para outros esclarecimentos.

José André P. Angotti

APÊNDICE 2

Cópia do Questionário aplicado a professores de disciplinas básicas de Física aos cursos de Engenharia.

1

QUESTIONÁRIO INFORMATIVO

Aplicado a professores de Física, ciclo básico, de cursos oferecidos a turmas da carreira de engenharia de todas as modalidades. Responder preferencialmente em equipe.

I - Dados Gerais

1. Escola (universidade ou IES, instituto, departamento)

2. Disciplinas de Física, ciclo básico:

Teoria (T)	Título	Semestre
--------------	--------	----------

Laboratório (L)	Título	Semestre
-------------------	--------	----------

3. As disciplinas T e L são tratadas nos cursos e avaliações:

. conjuntamente () . separadamente ()

4. Número de aulas semanais: T () L ()

Número de semanas do curso: ()

Obs. Considerar uma aula a sessão de 50 min.

Cursos: semestrais () anuais ()

5. Número de alunos atendidos pelo Dep. de Física por semestre ou ano, ^(indicar) em todos os cursos do ciclo básico:

. total () . só engenharia ()

6. Número de professores envolvidos nos cursos por semestre ou ano:

. total () . só engenharia ()

7. Número médio de alunos por turma: .T () .L ()

8. Índice médio de aprovação nos últimos semestres ou anos:

. total () , só engenharia ()

II - CURRÍCULOS E PROGRAMAS (T e L)

Dos títulos lançados a seguir, indicar segundo o código, como são abordados em termos de prioridade de conteúdo, não importando as metodologias empregadas, para os cursos de física básica das turmas de engenharia. Considerar os programas de T e L nas respostas.

Código: (a) - prioridade alta (b) prioridade média

(c) - prioridade baixa (d) não abordados

1. Mecânica da partícula , do sólido e dos fluidos.Excluir o curso da Mecânica Geral caso seja responsabilidade do Dep.de Fís.

. Estática: partícula () sólido() fluido ()

. Cinemática: partícula () sólido () fluido ()

. Dinâmica : partícula () sólido() fluido ()

Obs. Considerar movimentos de rotação e translação e tratamento de fluidos com os títulos usuais de hidrostática, hidrodinâmica.

- ## 2. Física Térmica

. Termometria () . Calorimetria ()

2. Transformações gerais de gases perfeitos ()

• Calor e primeiro princípio da termodinâmica ()

• Entropia e segundo princípio da termodinâmica ()

. Gases reais () . Distribuições Estatísticas ()

- ### 3. Eletricidade e Magnetismo

. Eletrostática () . Magnetostática ()

. Eletrodinâmica() . Eletromagnetismo ()

- #### 4. Oscilações e Ondulatória

• Movimento oscilatório ()

• Propagação das oscilações, ondas em meios elásticos ()

• Fenômenos ondulatórios ()

• Ondas eletromagnéticas ()

. Óptica geométrica () . Óptica física ()

5. Física Moderna

- . Cinemática relativística ()
- . Dinâmica relativística ()
- . Radiação de corpo negro e quantização de energia ()
- . Dualidade onda partícula - efeito fotoelétrico () ;
efeito Compton () ; Ondas de De Broglie () .
- . Modelos atômicos ()
- . Noções de Mecânica Quântica, equações de onda ()
- . Noções de Estado sólido
- . Noções de Física nuclear

III - Distribuição do programa dos cursos (T e L).

1. Considere os conteúdos dos tópicos da parte II agrupados em:
Física Material, tópicos que envolvem classicamente a massa e a carga elétrica, grupo 1, 2 e 3 da parte II;
Física Ondulatória, tópicos de física clássica que envolvem propagações, de origem mecânica ou eletromagnética, grupo 4 da parte II (inclusive mov. oscilatória, a classificação não é refinada); Física moderna (, massa-energia e dualidade onda partícula), grupo 5 da parte II.

Usando o mesmo código da parte II, pode-se afirmar que em sua escola , aborda-se:

Física Material () Física Ondulatória ()
Física Moderna ()

2. Os alunos de engenharia, depois de cumprirem as disciplinas do ciclo básico, terão oportunidade de estudar ~~em~~ conceitos e relações fundamentais de Física ? Excluir disciplinas profissionalizantes, incluir as do ciclo básico de outras unidades eventualmente.

. sim () indicar:

. não ()

3. Houve mudanças significativas nos programas e cursos em discussão, a nível de conteúdo, nos últimos semestres?

sim () Indicar:

não ()

4. Indique mudanças significativas nos programas que você e/ou sua equipe gostaria de implementar a nível de conteúdo. (verso)

5. A metodologia de ensino utilizada nos cursos de teoria consiste em: (use o código da parte II nas respostas).

aula expositiva () questões e discussão ()

seminários () listas de exercícios ()

ensino em grupo () ensino individual ()

6. Equipamentos disponíveis e sua efetiva utilização nos cursos: (assinalar com o código da parte II quando usados)

quadro negro e giz () retro projetor ()

diapositivos () biblioteca setorial ()

filmoteca () prateleira de demonstrações ()

video-cassete () câmera de vídeo ()

outro (), indicar: *equip/de lab. didático. ()*

7. Texto ou apostila adotados : Teoria: sim () não ()

indicar :

Laboratório : sim () não ()

indicar :

8. Com relação às iniciativas para melhoria do ensino de física, como Simpósios nacionais e regionais, publicações de textos para-didáticos, revistas, projetos do PADCT/CAPES, você e sua equipe afirmariam que, para os cursos em discussão, a nível de conteúdos:
- interferem muito () interferem pouco ()
- interferem conforme interesse dos alunos ()
- nada interferem ()

APÊNDICE 3

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA - U.F.S.C.

OBJETIVOS:

O Curso de Engenharia, Graduação em Engenharia Mecânica tem por objetivo dar ao aluno a formação profissional de Engenheiro Mecânico, através do estudo da mecânica como ciência e de suas aplicações ao projeto, à fabricação e utilização de máquinas.

criação do curso:

DECRETO - 3.849 DE 18/12/60
DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

RECONHECIMENTO DO CURSO:

DECRETO - 75.774 DE 26/05/75
DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
PARECER - 24/75

NÚMERO TOTAL DE CRÉDITOS OBRIGATÓRIOS - 250+
NÚMERO DE CRÉDITOS OPCIONAIS/OBRIGATÓRIOS - 30
NÚMERO TOTAL DE CRÉDITOS A SER CURSADO - 280

PERÍODO DE CONCLUSÃO:

PRAZO MÍNIMO - 8 semestres
PRAZO MÁXIMO - 18 semestres

1ª FASE

CÓDIGOS	DISCIPLINAS	CRÉD.	REQ-PAR.	PRÉ-REQ.
EMC 1130	INTRODUÇÃO À ENGENHARIA MECÂNICA	4	-	-
MTM 1161	CÁLCULO A	5	-	-
QMC 1104	QUÍMICA GERAL I	4	-	-
FSC 1101	FÍSICA I	4	-	-
RTS 1201	GEOMETRIA DESCRITIVA I	4	-	-
BLG 1140	CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS	4	-	-
	PRÁTICA DESPORTIVA I	2	-	-

2ª FASE

CÓDIGOS	DISCIPLINAS	CRÉD.	REQ-PAR.	PRÉ-REQ.
MTM 1162	CÁLCULO B	5	-	MTM 1161
FSC 1102	FÍSICA TEÓRICA A	6	-	FSC 1101 MTM 1161
MTM 1221	ÁLGEBRA LINEAR E GEOMETRIA ANALÍTICA I	5	-	-
CEC 1128	INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO I	4	-	-
RTS 1202	GEOMETRIA DESCRITIVA II	4	-	RTS 1201
FSC 1122	FÍSICA EXPERIMENTAL I	4	-	FSC 1101
ENQ 1113	QUÍMICA TECNOLÓGICA GERAL A	8	-	QMC 1104
	PRÁTICA DESPORTIVA II	2	-	-

Programa curricular do Curso de Engenharia

1

3ª FASE

<u>CÓDIGOS</u>	<u>DISCIPLINAS</u>	<u>CRÉD.</u>	<u>REQ-PAR.</u>	<u>PRÉ-REQ.</u>
MTM 1163	CÁLCULO C	6	-	MTM 1162
FSC 1133	FÍSICA TEÓRICA B	6	-	FSC 1132
MTM 1222	ÁLGEBRA LINEAR E GEOMETRIA ANALÍTICA II	5	-	MTM 1221
FSC 1206	MECÂNICA I - ESTATICA	4	-	MTM 1162 FSC 1132
RTS 1604	DESENHO TÉCNICO	4	-	RTS 1201
CEC 1103	CÁLCULO NUMÉRICO EM COMPUTADORES II	4	-	CEC 1126
DPS 1140	NOÇÕES GERAIS DE DIREITO PRÁTICA DESPORTIVA III	4 2	- -	- -

4ª FASE

<u>CÓDIGOS</u>	<u>DISCIPLINAS</u>	<u>CRÉD.</u>	<u>REQ-PAR.</u>	<u>PRÉ-REQ.</u>
PSI 1301	RELAÇÕES HUMANAS	2	-	-
RTS 1623	DESENHO TÉCNICO PARA ENGENHARIA MECÂNICA	4	-	RTS 1604
FSC 1207	MECÂNICA II - DINÂMICA	4	MTM 1163	FSC 1206
CEC 1221	ESTATÍSTICA E PROBABILIDADE	4	-	-
FSC 1123	FÍSICA EXPERIMENTAL II	4	-	FSC 1133
MTM 1164	CÁLCULO D	4	-	MTM 1163
EMC 1401	TERMODINÂMICA	5	-	CEC 1103 MTM 1163
	PRÁTICA DESPORTIVA IV	2	-	FSC 1132 -

5ª FASE

<u>CÓDIGOS</u>	<u>DISCIPLINAS</u>	<u>CRÉD.</u>	<u>REQ-PAR.</u>	<u>PRÉ-REQ.</u>
EMC 1125	MECÂNICA DOS SÓLIDOS I	4	-	MTM 1163
EMC 1402	MECÂNICA DOS FLUIDOS	5	-	FSC 1207 MTM 1164
EMC 1101	MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO MECÂNICA I	4	-	EMQ 1113
EMC 1222	METROLOGIA DIMENSIONAL BÁSICA	4	-	RTS 1623
EMC 1240	PROCESSOS DE FABRICAÇÃO I	5	-	RTS 1623
EEL 1114	ELETROTÉCNICA III	4	-	FSC 1133
	PRÁTICA DESPORTIVA V	2	-	-

6ª FASE

<u>CÓDIGOS</u>	<u>DISCIPLINAS</u>	<u>CRÉD.</u>	<u>REQ-PAR.</u>	<u>PRÉ-REQ.</u>
EMC 1126	MECÂNICA DOS SÓLIDOS II	4	-	EMC 1125
EMC 1403	TRANSMISSÃO DE CALOR	5	-	EMC 1401 MTM 1164
EMC 1102	MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO MECÂNICA II	4	-	EMC 1101
EMC 1121	FADIGA	4	-	EMC 1101 EMC 1125

PP 193.

Mecânica da UFSC.

EMC 1241	PROCESSOS DE FABRICAÇÃO II	5	-	RTS 1623 EMC 1125 EMC 1402
EMC 1429	MÁQUINAS DE FLUXO	4	-	

7ª FASE

<u>CÓDIGOS</u>	<u>DISCIPLINAS</u>	<u>CRÉD.</u>	<u>REQ-PAR.</u>	<u>PRÉ-REQ.</u>
EMC 1420	SISTEMAS TÉRMICOS I	4	-	EMC 1402 EMC 1403
EMC 1421	SISTEMAS TÉRMICOS II	4	-	EMC 1402
EMC 1443	FUNDAMENTOS DE SISTEMAS HIDRÁULICOS E PNEUMÁTICOS	3	-	EMC 1402
EMC 1123	MECANISMOS	4	-	FSC 1207
EMC 1330	ELEMENTOS DE MÁQUINAS I	4	-	EMC 1121
EMC 1242	PROCESSOS DE FABRICAÇÃO III	5	-	RTS 1623 EEL 1114 EMC 1125
EMC 1127	MECÂNICA DOS SÓLIDOS III	4	-	
EPB 1504	ESTUDO DE PROBLEMAS BRASILEIROS I	2	-	-

8ª FASE

<u>CÓDIGOS</u>	<u>DISCIPLINAS</u>	<u>CRÉD.</u>	<u>REQ-PAR.</u>	<u>PRÉ-REQ.</u>
EMC 1332	ELEMENTOS DE MÁQUINAS II	4	-	EMC 1121 EMC 1126
EMC 1422	SISTEMAS TÉRMICOS III	4	-	EMC 1403
EMC 1140	CONTROLE DE VIBRAÇÕES	5	-	EMC 1126 EMC 1121
EPB 1505	ESTUDO DE PROBLEMAS BRASILEIROS II	2	-	-

OBS.: O aluno deve cursar no mínimo 30 créditos de disciplinas optativas, o que é recomendado fazer na 8ª e 10ª fases.

9ª FASE

<u>CÓDIGOS</u>	<u>DISCIPLINAS</u>	<u>CRÉD.</u>	<u>REQ-PAR.</u>	<u>PRÉ-REQ.</u>
EMC 1530	ESTAGIO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA MECÂNICA	30	-	92 CRÉDITOS DO CICLO PROFISSIONALIZANTE

10ª FASE

<u>CÓDIGOS</u>	<u>DISCIPLINAS</u>	<u>CRÉD.</u>	<u>REQ-PAR.</u>	<u>PRÉ-REQ.</u>
EPB 1209	ECONOMIA E ORGANIZAÇÃO INDUSTRIAL	4	-	MTM 116:
EPB 1211	PROGRAMAÇÃO ECONÔMICA E FINANCEIRA	4	-	-

DISCIPLINAS OPTATIVAS

Carga horária mínima obrigatória: 30 créditos, sendo 15 créditos dentro de uma das três áreas abaixo de disciplinas optativas.

ÁREA DE FABRICAÇÃO

CÓDIGOS	DISCIPLINAS	CRÉD.	REQ-PAR.	PRÉ-REQ.
EMC 1218	COMANDO NUMÉRICO	3	-	EMC 1240
EMC 1223	TEORIA DA USINAGEM E FERRAMENTAS	4	-	EMC 1240
EMC 1239	FORJAMENTO EM MATRIZ	3	-	EMC 1241
EMC 1209	PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO CONTÍNUA	2	-	EMC 1241
EMC 1217	TRABALHO EM CHAPAS	3	-	EMC 1241
EMC 1237	PROCESSAMENTO DE POLÍMEROS	3	-	RTS 1623
EMC 1225	SOLDAGEM I	3	-	EMC 1242
EMC 1226	SOLDAGEM II	3	-	EMC 1102
				EMC 1242
EMC 1227	SOLDAGEM III	2	-	EMC 1242
				EMC 1102
EMC 1219	FUNDIÇÃO	3	-	EMC 1242
EMC 1236	MEDIDAÇÃO DE GRANDESAS MECÂNICAS	5	-	EMC 1127
				EMC 1402
				EMC 1403
EMC 1250	ECONOMIA DA USINAGEM	2	-	EMC 1240
EMC 1252	PROCESSOS NÃO CONVENCIONAIS DE USINAGEM	2	-	EMC 1240
EMC 1243	TÓPICOS ESPECIAIS EM FABRICAÇÃO	3	-	EMC 1102
EMC 1249	PLANEJAMENTO DE USINAGEM	3	-	EMC 1240
EMC 1224	METALURGIA DO PÓ E MATERIAIS CONJUGADOS	4	-	EMC 1101
				EMC 1102
EMC 1244	DINÂMICA E CONTROLE DE SISTEMAS	4	-	NTM 1164
				FSC 1133

ÁREA DE PROJETO

CÓDIGOS	DISCIPLINAS	CRÉD.	REQ-PAR.	PRÉ-REQ.
EMC 1317	CONTROLE DE RUÍDOS	3	-	EMC 1140
EMC 1320	SISTEMAS DE CONTROLE	4	-	NTM 1164
				EMC 1140
EMC 1341	OTIMIZAÇÃO	4	-	NTM 1164
EMC 1313	ANÁLISE ESTRUTURAL I	4	-	EMC 1126
				NTM 1222
EMC 1314	ANÁLISE ESTRUTURAL II	4	-	EMC 1313
EMC 1310	PROJETO DE ESTRUTURAS	4	-	EMC 1121
				EMC 1127
EMC 1340	METODOLOGIA DE PROJETO	3	-	EMC 1330
EMC 1311	VEÍCULOS AUTOMOTORES	4	-	EMC 1332
EMC 1122	CONFIABILIDADE ESTRUTURAL	2	-	EMC 1121
				CEC 1221
EMC 1325	PROJETO DE MÁQUINAS FERRAMENTAS	4	-	EMC 1332

EMC 1323	TRANSPORTADORES INDUSTRIAIS	4	-	EMC 1330
EMC 1334	PROJETOS DE PRODUTOS INDUSTRIAIS	2	-	EMC 1340
EMC 1236	MEDICÃO DE GRANDEZAS MECÂNICAS	5	-	EMC 1127 EMC 1402 EMC 1403 EMC 1121
EMC 1315	TRIBOLOGIA	3	-	EMC 1123 EMC 1332
EMC 1316	PROJETO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS	4	-	EMC 1126
EMC 1322	TÓPICOS ESPECIAIS EM PROJETO	3	-	MTM 1164 FSC 1133
EMC 1244	DINÂMICA E CONTROLE DE SISTEMAS	4	-	MTM 1222 RTS 1623
EMC 1321	SISTEMAS CAE/CAD/CAM EM ENGENHARIA	3	-	

ÁREA DE TERMOTÉCNICA

CÓDIGOS	DISCIPLINAS	CRÉD.	REQ-PAR.	PRÉ-REQ.
EMC 1414	GERADORES DE VAPOR	2	-	EMC 1420
EMC 1455	DIMENSIONAMENTO TÉRMICO DE TURBINAS A VAPOR	2	-	EMC 1420
EMC 1428	PROJETOS DE MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA	4	-	EMC 1422 EMC 1402 EMC 1330
EMC 1436	LABORATÓRIO DE SISTEMAS TÉRMICOS	3	-	EMC 1420 EMC 1421 EMC 1422
EMC 1442	PROJETO DE MÁQUINAS DE FLUXO	2	-	EMC 1429
EMC 1423	SISTEMAS TÉRMICOS IV	3	-	-
EMC 1446	MECÂNICA DOS FLUIDOS II	3	-	EMC 1402
EMC 1454	PROJETO DE REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO	3	-	EMC 1421 EMC 1121 EMC 1127
EMC 1310	PROJETO DE ESTRUTURAS	4	-	
EMC 1236	MEDICÃO DE GRANDEZAS MECÂNICAS	5	-	EMC 1127 EMC 1402 EMC 1403
EMC 1444	PROJETO DE SISTEMAS TÉRMICOS	4	-	CEC 1103 EMC 1403
EMC 1453	PROJETO DE REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO	4	-	EMC 1421
EMC 1456	TRANSMISSÃO DE CALOR - SOLUÇÃO DE PROBLEMAS POR DIFERENÇAS FINITAS	3	-	CEC 1103 EMC 1403 EMC 1402 EMC 1402
EMC 1457	VENTILAÇÃO INDUSTRIAL	3	-	
EMC 1548	TRANSPORTE DE MASSA	4	-	

3

EMC 1462	TÓPICOS ESPECIAIS EM TERMOTÉCNICA	3	-	EMC 1403
				EMC 1402
EMC 1452	CONSERVAÇÃO DE ENERGIA	3	-	EMC 1420
EMC 1447	TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS	3	-	EMC 1420
EMC 1448	CONFORTO TÉRMICO	3	-	EMC 1421
EMC 1459	ENERGIA SOLAR	4	-	CEC 1103
				EMC 1403
EMC 1463	CONTROLE DE AMBIENTE	4	-	EMC 1403
				EMC 1402
EMC 1484	TÓPICOS DE SISTEMAS HIDRÁULICOS	3	-	EMC 1443
EMC 1465	TÓPICOS DE PNEUMÁTICA	3	-	EMC 1443
EMC 1244	DINÂMICA E CONTROLE DE SISTEMAS	4	-	MTM 1164
				FSC 1133
EMC 1466	MODELAÇÃO E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS TÉRMICOS	3	-	CPC 1103
				EMC 1402
				EMC 1403

DISCIPLINAS OPTATIVAS GERAIS

<u>CÓDIGOS</u>	<u>DISCIPLINAS</u>	<u>CRÉD.</u>	<u>REQ-PAR.</u>	<u>PRÉ-REQ.</u>
EMC 1460	ENGENHARIA DE REATORES I	5	-	MTM 1164
EMC 1461	ENGENHARIA DE REATORES II	5	-	EMC 1460
LLE 1103	INGLÊS I-B	3	-	-
EPS 1223	ECONOMIA DA ENGENHARIA	4	-	CEC 1128
				MTM 1163
EPS 1238	ESTUDO DE TEMPO E MÉTODOS	3	-	EPS 1225
EPS 1242	CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE	3	-	CEC 1221
EPS 1231	GERÊNCIA INDUSTRIAL I	4	-	EPS 1223
EPS 1232	GERÊNCIA INDUSTRIAL II	3	-	EPS 1231
EPS 1225	ERGONOMIA E SEGURANÇA INDUSTRIAL	4	-	BLG 1140
				FSC 1133
				CEC 1221
EPS 1227	PLANEJAMENTO INDUSTRIAL	4	-	EPS 1231
				EPS 1209
LLV 1175	PORTUGUÊS PRÁTICO; REDAÇÃO I	3	-	-

OBSERVAÇÃO: A carga horária do curso não inclui os créditos referentes à Prática Desportiva e Estudo de Problemas Brasileiros.

APÊNDICE 4

C O N S T R U Ç Ã O

&

R E A L I D A D E

no E N S I N O de F Í S I C A

p. IV,

parte A - pp. 1010

parte B - pp. 1018

José André Peres Angotti

Cópia de Trabalho realizado em 1989.

"Ondas Eletromagnéticas e Física Moderna"

CONSTRUÇÃO E REALIDADE NO ENSINO DE FÍSICA

José André Peres Angotti

PRELIMINARES

O trabalho é apresentado em duas partes relativamente independentes porém complementares, a saber:

I - Mapa conceitual de Ondas Eletromagnéticas.

Pretendo nesta parte tratar os conceitos básicos envolvidos no tema numa perspectiva estrutural, conforme discutido no curso⁽¹⁾ onde se busca a localização das partes-relações e conceitos-no todo na estrutura, teoria, visão global que caracteriza as partes.

II - Interação da Radiação com Eletrons Livres - Espalhamento Compton -

Aqui procuro discutir elementos de interesse didático-pedagógico através do tema escolhido, conduzido por princípios de conservação (da energia e do momento linear) aplicados ao modelo de foton.

As discussões geradas pelo desenvolvimento do tema são, supostamente, interessantes para os alunos de um curso de ciclo básico, nível Física IV.

Ao final desta segunda parte, faço uma crítica à primeira (pautada exclusivamente no modelo clássico de radiação), em parte para mostrar como o "novo" em física permite nova leitura do "velho", em parte com intenção de alertar para uma possível interpretação definitiva e estática da estrutura, comportamento comum entre nós, professores, ao tratarmos assuntos de forma acabada com os alunos.

Tanto para o mapa, como para a interação, procuraremos destacar o conceito de energia (privilegiar uma relação, que a princípio, não é coisa)⁽¹⁾ dado o meu interesse em trabalhar conteúdos, teoria físicas e suas ligações através da conservação da energia, numa tentativa de buscar novo eixo para o ensino de ciências e de física, ou seja: ensino por temas ao contrário do ensino por capítulos como normalmente

fazemos, com auxílio dos textos. Penso ser possível reduzir em parte a fragmentação do conhecimento através do desenvolvimento de temas norteados por um conceito unificador (energia e sua conservação), bem como facilitar as relações entre todo e partes contemplados em cada tema. Hoje é quase consensual que a seriação monótona do conteúdo, apesar de organizada e bastante lógica, acaba por deixar um possível trabalho de síntese e visão global para os alunos, tarefa que poucos conseguem depois de muito tempo de dedicação e perseverança.

Assim, este trabalho será útil para um desenvolvimento posterior das idéias que pretendo avançar e que por ora estão ainda na fase inicial, pouco melhoradas desde a dissertação de mestrado, onde apresentei resultados de estudos realizados com professores da Guiné Bissau com este enfoque.⁽²⁾

A preocupação acadêmica aqui explicitada é reflexo da concepção que nosso grupo de ensino pratica, onde se procura adequar conteúdos universais no respectivo universo temático ditado pela região/comunidade que é o centro da prática educativa (concepção de Paulo Freire para o ensino de Ciências, elementos de psicologia da aprendizagem e de psicologia social, conceitos unificadores, em resumo).⁽³⁾

1 - O MAPA

- INTRODUÇÃO -

O tema escolhido é do meu interesse basicamente por duas razões; uma certa prática em cursos de Física Geral IV ministrados durante vários semestres na Fac. de Engenharia Industrial, com o conteúdo básico de Óptica Física e Introdução à Física Moderna, partindo-se das equações de Maxwell e de Ondas Eletromagnéticas; interesse em trabalhar assunto onde as "coisas" (massa e carga) não estão presentes, mas sim "relações" (campos e energia) e também por se tratar de tema essencialmente dinâmico (perturbações, periodicidade) pela própria natureza e definição (sinal, informação, transporte de energia sem transporte de matéria).

Exercitando (rascunhando) alguns prováveis mapas conceituais de física clássica, percebi, a partir do exemplo discutido em aula e da leitura da dissertação de Sonia Salém⁽⁴⁾ que tanto massa como carga estariam posicionados como atores centrais, como por exemplo:⁽⁵⁾

Gravitação -----

m - massa; Q - carga
 $\vec{g}$ - campo gravitacional
 V - potencial gravitacional
 U - energia mecânica
 $\vec{p}$ - quantidade movimento
 $\vec{L}$ - momento angular

Eletrodinâmica -----

$\vec{E}$ - campo elétrico
 $\vec{j}$ - densidade de corrente
 V - dif. de potencial
 U - energia elétrica

P - pressão; V - volume
T - temperatura
U - energia
S - entropia

- DESENVOLVIMENTO -

Por outro lado se pretendo fazer o mesmo para caracterizar globalmente as ondas eletromagnéticas (poderia incluir qualquer fenômeno ondulatório e suas perturbação em meios elásticos ou não, mas preferi a restrição), longe da fonte (portanto de cargas aceleradas, núcleos radioativos, moléculas aquecidas...) e num meio não dispersivo (vácuo, longe de qualquer massa, apesar desta entrar, no caso, como material dispersivo), deverei esboçar grandezas que são basicamente aquelas que definem e dão caráter físico às ondas E.M. para além das relações matemáticas que encerram entre elas. Nesta perspectiva os dois primeiros mapas esboçados foram: ⁽⁵⁾, ⁽⁶⁾

onde: $\vec{E}$ - campo elétrico, função de coordenadas e do tempo, não conservativo

$\vec{B}$ - campo de indução magnético, função de coordenadas e do tempo, "irmão" de $\vec{E}$, ou gerado por ele e ao mesmo tempo o gerado.

$\vec{S}$ - vetor de Poynting, perpendicular aos outros dois ao plano por eles definido, aquele que leva a informação

(sentido do momento ($\vec{p}$) e da velocidade ($\vec{v}$) - de fase e de grupo, no caso-).

U - energia, ou densidade volumétrica tomada num volume.

$$U = \int_V u dV$$

P - potência, fluxo de $\vec{S}$, ou taxa temporal de U.

I - intensidade, valor médio de $\vec{S}$, ou taxa de P por elemento de superfície (modelo de onda plana).

Ainda não evidenciados nos primeiros mapas, não podemos esquecer das relações básicas tipo: ortogonalidade (ondas transversais), relações entre $\vec{E}$ e $\vec{B}$ (equação de onda, de D'Alembert), conceitos de frequência e comprimento de onda, decorrentes da periodicidade e da não dispersão-constantes-).

Ressalto que o modelo, sendo clássico, prescinde do conceito de foton embora pretendamos rever como o mapa pode ser contemplado ou descartado ao final do trabalho.

2 - A ESTRUTURA

Algumas derivações dos dois primeiros esboços foram obrigatoriamente feitas, onde procurei melhorar a visão tanto interna quanto externa dos conceitos e das relações. Elas levaram a uma formulação quase final do mapa já numa perspectiva estrutural que evidencia o caráter espacial das mesmas relações. Apresento apenas a primeira estrutura obtida, que não foi imediata em absoluto, tendo passado por vários esboços. (3)

OBS.: Relações entre as grandezas, que ainda não estão diretamente presas ao mapa (não fiz, de início, correspondência entre estas e os traços e setas, embora possam ser estabelecidas de imediato) (5,6)

Campos $\vec{E}$ e $\vec{B}$: equações de Maxwell: $\text{div}.\vec{E} = 0$ (ausência de cargas)

$$\text{div}.\vec{B} = 0$$

$$\text{rot}.\vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$v^2 = (\mu_0 \epsilon_0)^{-1} \quad \text{sistema S.I.}$$

$$\text{rot}.\vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (\vec{j} = 0)$$

$$\text{Equação de onda: } \nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}; \quad v = c = \text{cte}$$

(propagação) mesmo para $\vec{B}$

$$\text{Energia e Campos: } U = U(\vec{E}.\vec{E}) \text{ ou } U = U(\vec{B}.\vec{B}); \quad u = \frac{\partial U}{\partial V} = \epsilon_0 E^2$$

$$\text{Vetor de Poynting e os dois campos: } \vec{S} = \vec{S}(\vec{E} \times \vec{B}); \quad \vec{S} \propto \vec{v}; \quad \vec{S} \propto P$$

$$\text{Escalares Potência e Intensidade: } P = \frac{\partial U}{\partial t} = \int_A \vec{S} \cdot \vec{n} dA \quad P = S \cdot A \quad (\text{Onda Plana})$$

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T P dt$$

$$I = \frac{\bar{P}}{A}; \quad I = |\vec{S}| \quad \text{valor médio}$$

Com um exemplo clássico de onda harmônica se propagando no espaço vazio, podemos estabelecer as relações de ordem derivada, uma vez que para nossa compreensão, não precisamos (nem devemos) fortalecer relações de caráter cinemático, como o vetor de onda, frequência (é física clássica) e comprimento de onda. Naturalmente, o exemplo é desnecessário, mas didaticamente é valioso.

Onda harmônica: $\vec{E} = \vec{E}_0 \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})$ e, similarmente para $\vec{B}$, perpendicular a $\vec{E}$.

$$\omega = k \cdot v \quad \lambda = \frac{2\pi}{k}; \quad v = \frac{\omega}{2\pi}$$

As grandezas: $\vec{k}$ e ω nos ajudam a buscar a frequência e o comprimento de onda, uma vez que a velocidade da onda é constante.

Pode-se também trabalhar com as equações de Maxwell para esta equação e mostrar que ela satisfaz a equação de D'Alembert, sendo portanto uma onda, conforme definição usada para introdução à ondulatória (pulsos em corda, ondas em superfície calma de água, ondas sonoras-longitudinais...) (5,6)

Ainda nas relações, o transporte de momento linear e angular podem ser também enfatizados, através de suas relações com U , $\vec{E}$ e $\vec{B}$. Este ponto é vital para uma posterior discussão em "dualidade onda-partícula".

$$p = \frac{u}{c} = \frac{\epsilon_0 E^2}{c} \quad \text{ou} \quad \vec{p} = \epsilon_0 (\vec{E} \times \vec{B}); \quad \vec{L} = \epsilon_0 \vec{r} \times (\vec{E} \times \vec{B})$$

L (orbital)

Uma crítica posterior à disposição espacial das grandezas (sempre dando uma certa prioridade para a energia) levou a uma "última" formulação depois de, penetrando na estrutura, perceber uma certa "dança" entre as seis grandezas. Antes porém de conseguir a estrutura "final" consegui detectar uma outra evolução da mesma que pode ser obtida das junções de outras duas (4 e 5), a saber:

Assim, a estrutura 3 pode ser desdobrada em 4 e 5, sendo a grandeza energia (U) o único vértice, aquela que entrelaça as demais (faz o papel da carga e da massa nos primeiros exemplos; é uma relação quase "coisa").

Por estar o plano da base da figura 3 muito carregado, além das relações abaixo dele, a composição final para uma estrutura conceitual de ondas eletromagnéticas propagando-se no vácuo, é a de número 6 abaixo apresentada, com as relações e "compromissos espaço-temporais" localizados na própria. O vetor de Poynting passou a compor mais uma vértice, foi "puxado" para baixo. Externamente, vemos um octaedro, embora deva ser imaginado de "material transparente", ou sem material, com suas 15

linhas ligando as grandezas, agora sem tanta prioridade para Energia, pelo menos espacialmente.

LEGENDA DAS RELAÇÕES ENTRE AS GRANDEZAS.

As definições e as relações matemáticas são aquelas das páginas 4 e 5.

- 1, 2 - Fluxo escalar (taxas, variações de energia no tempo e na superfície, Conservação de Energia).
- 3, 4 - Densidades de energia, armazenada nos campos:
($U \propto E^2$; $U \propto B^2$).
- 5 - Propagação, periodicamente (variação no espaço e no tempo).
- 6 - Valor médio.
- 7 - Fluxo de vetor.
- 8, 9 - Ortogonalidade, onda transversal.
- 10 - Densidade superficial.
- 11 - Densidade temporal de energia.
- 12 - Ortogonalidade, rotacional (circuitação), equação de onda, simetria.
- 13, 14 e 15 - Densidades temporais e/ou superficiais de energia.

OBS.: As grandezas Vetor de Onda, pulsação, frequência e comprimento de onda podem ser vislumbradas em 5, 8, 9 e 12.⁽⁵⁾

COMENTÁRIOS, CRÍTICAS (QUESTÕES) E CONCLUSÃO.

A figura 6 deve ser encarada como possível mapa conceitual do tema ondas eletromagnéticas. Outros são igualmente e válidos e até talvez mais pertinentes, como por exemplo partindo-se do campo eletromagnético definidos pela interação com carga elétrica (Força de Lorentz: $\vec{F} = q [\vec{E} + (\vec{v} \times \vec{B})]$) e, a partir daí, derivando-se as demais grandezas, inclusive a energia. Entretanto, a figura 6 estabelece, sem "economias" as possíveis relações entre as seis grandezas e várias possibilidades de se começar a ler o mapa. Exemplo: Partindo-se da Intensidade (fenomenologia) da radiação solar, pode-se chegar a toda estrutura e à discussão do espectro da luz branca e por extensão, de todo o

espectro eletromagnético. Esta é minha opção preferida.⁽²⁾

Um caminho alternativo deixaria de lado o vetor de Poynting e as escalares Potência e Intensidade, centrando a estrutura (mais compacta) nos dois campos e na energia em propagação. Didaticamente porém, penso ser importante a caracterização das seis grandezas e uma discussão com os alunos do porquê desta opção (energia pura sem discutir suas taxas fica sempre no terreno mais abstrato) e lançar idéias para outras alternativas.

O exercício é gratificante, a busca do todo enquanto conjunto de partes (porém que é mais que a soma das partes) nos desafia a percorrer caminhos não muito trilhados, às vezes quase ortogonais àqueles que pensamos e "fazemos os alunos pensarem", sempre sequenciado, em pequenas doses, com definições muito de acordo com a dos textos, sempre ou quase sempre na mesma ordem apresentada pelos mesmos.

Impossibilitados que somos de vencer a unidimensionalidade dos cursos e obrigados a trabalhar teorias que são "coisas" espaciais,⁽¹⁾ imbricadas e passíveis de contemplação a um só instante, a composição estrutural nos ajuda a tarefa de rompermos com a deposição sistemática de conteúdos em classe. Em contrapartida, a configuração pode levar à observação estática, um componente forte das estruturas, bastante criticado nas propostas de Ausubel e seguidores⁽⁷⁾ por exemplo. O jogo do observador ora montado de fora, ora entrando na estrutura e a contínua crítica de que estamos trabalhando conceitos relacionados dinamicamente, enriquece o processo de construção, na busca de um conhecimento de profundidade. Uma outra crítica a este ou qualquer outro mapa conceitual de uma teoria é o reforço do modelo em Física e sua representação do que supomos ser real (a contraposição do binômio construção - realidade é mais do que necessária, como presenciemos bastante durante nosso curso).⁽¹⁾

O formalismo poderoso que acompanha o tema desenvolvido é, de certa forma, revalidado na estrutura e na relação entre os conceitos. Ao mesmo tempo, em nossa opinião, ele é transcendido pelos conceitos e relações que a estrutura explicita. Esta é real, e, simultaneamente, uma construção moldada pela Física na sua interpretação do "real".

II - INTERAÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

Meu interesse em desenvolver este assunto numa perspectiva voltada para o ensino de ciências prende-se basicamente a dois pontos:

- estou convencido da possibilidade de se trabalhar conteúdos de Física no 3º grau através de TEMAS, de maneira a não obedecer sequências tradicionais ditadas pelos textos, que caminham por capítulos seriados e muito bem alinhados (com muita consistência interna, sequência gradual de introdução "didática dos conceitos, experiências que "comprovam a teoria..."). O espalhamento Compton é um tema rico para ser desenvolvido no último semestre de um curso básico de Física, provocando discussões e questões com desdobramentos vários, que normalmente não ocorrem em cursos que ministramos, como:
- analogia entre interação macroscópica e hipermicroscópica; modelo de "colisão elástica" foton-eletron e consequente validação das teorias clássicas, e sobretudo dos princípios de conservação de energia e momento linear,
- limitação do modelo clássico, que não satisfaz as condições experimentais,
- introdução a modelos de física moderna, tanto em Mecânica Quântica, como em relatividade restrita, assuntos de importância para um curso final de ciclo básico,
- alguma discussão sobre ordens de grandeza que facilitam a observação dos ftons espalhados (raios γ , em relação a raios x , dada a máxima variação do λ dos ftons ser da ordem 10^{-2} Å),
- material experimental para se conseguir resultados experimentais aceitáveis para um laboratório didático de curso de física e ou engenharia,
- elementos de história da ciência que contribuíram para as conclusões de Compton (e outros, como veremos) que podem ser ricos para discussões em sala e que podem ser caracterizados como uma "pequena revolução científica", uma vez que a descoberta que levou ao reforço do modelo de foton está temporalmente inserida entre a velha mecânica quântica (Bohr) e o trabalho de De Broglie, que fecha o círculo da natureza dual onda-maté-

ria, e também daqueles de Heisenberg e Shrödinger. As "tradicionais resistências" também ocorreram por ocasião do primeiro trabalho de Compton, em seu próprio país.

2 - LOCALIZAÇÃO DO TEMA NUM CURSO DE FÍSICA IV

A interação fóton-eletron (ou outra partícula) pode ser apresentada logo após a discussão das equações de Maxwell e das Ondas Eletromagnéticas (parte I) seguidas dos fenômenos de Difração, Interferência e Polarização (estas apoiadas por experiências com auxílio de Laser didático de He-Ne, de potência 0,5 mW, existentes nas escolas em geral).

Assim, o espalhamento Compton não deve ser apresentado após o problema da Radiação do Corpo Negro e do Efeito Fotoelétrico que viria logo após espalhamento, proporcionando elementos de comparação, (sugeridos mais adiante neste trabalho). As dualidade seria trabalhado logo após com Postulados de De Broglie e difração de eletrons. Não concordo com a abordagem dos textos em geral, que neste ponto é historicamente "justa" e cronologicamente dando destaque muito amplo à radiação emitida por sólidos, fato que poderia ser discutido comparativamente àquela emitida por gases (espectro contínuo contra discreto). Isto não significa omissão dos postulados de Planck e Einstein, que podem ser muito bem valorizados sem que a sequência histórica seja obedecida.

O problema da radiação do corpo negro seria colocado anteriormente ao tema Modelos Atômicos, parte final do curso.

Uma outra alternativa seria o tratamento de Efeito Compton logo após Ondas Eletromagnéticas, para se trabalhar depois o efeito fotoelétrico e só então fenômenos ópticos, como é feito por Allonso e Finn, vol.2. (6)

Para os profissionais que não seguirão cursos de física, seria desejável mais um semestre para que fosse desenvolvido, a nível introdutório, Estado Sólido e Física Nuclear. Mais isto está longe de acontecer, sobretudo nos pulverizados cursos de engenharia. A título de exemplo, havia até o último ano um 5º semestre de Física para futuros engenheiros de eletrotécnica e eletrônica na Escola de Engenharia Mauá, mas acabou sendo encerrado. Na FEI, conseguimos implantar o 4º semestre depois de uma pequena reforma curricular 1977/78 e tivemos muita dificuldade na fase de amadurecimento do curso. Hoje, é tido como um dos mais interessantes da escola, da parte alunos (percebem as aplicações mais atualizadas já existentes no mercado e valorizam sua riqueza conceitual), embora a sequência seja das mais tradicionais.

A parte final do curso seria a mesma, com modelos atômicos.

Para os 4 semestres do ciclo básico não se pode fazer mais nada enquanto não se alterar os cursos de dinâmica da partícula (Física I), tratando-os de forma bastante compacta, com destaque para os princípios de conservação e muito pouca cinemática.

3 - O ESPALHAMENTO

Compton publicou seu "A Quantum Theory of the Scattering of X-Rays by Light Elements" na edição de Fevereiro de 1923 do Physical Review⁽⁸⁾ como parte dos resumos do Encontro de Chicago da "American Physical Society, depois de explorar o problema experimental e teoricamente. Havia trabalhado com espalhamento de Raios χ e γ , embora tenha usado a raia de Molibdênio K α . (discutiremos o porquê mais adiante, seção 5).

O modelo é simples e compreensível, análogo a uma colisão elástica entre duas partículas, conforme mostra a fig.1.

Admitindo-se o choque (elástico) estamos tratando radiação como partículas, como fez Compton, numa confirmação espetacular do modelo de fóton proposto por Einstein em 1905.

Assim, o fóton cede parte da sua energia inicial (E) para o elétron livre, indicando o resultado uma confirmação a nível microscópico das conservações do momento linear e da energia. Classicamente, o espalhamento ocorreria segundo a teoria de Thomsom, com a radiação perdendo intensidade e sendo absorvida pelo material, sem mudança de frequência ou comprimento de onda.

$(I = I_0 e^{-\mu x})$; I, I_0 — intensidades, μ — coef. absorção do material. ⁽⁹⁾

Aplicando-se a conservação das duas grandezas, temos:

$$\text{ENERGIA: } E + E_o = E' + |E_o + E_{ce}|$$

$$E_{oe} + E_{ce} = E_e$$

$$\text{MOMENTO: } \vec{p} = \vec{p}' + \vec{p}_e$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}; \quad p = \frac{h}{\lambda}$$

$$p_e^2 c^2 = E_e^2 - E_{oe}^2$$

e após algumas transformações chegamos à variação de comprimento de onda (e frequência dos ftons espalhados), abaixo.

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_o c} (1 - \cos \theta); \quad \frac{h}{m_o c} = 0,024 \text{ \AA} \text{ (eletron)}$$

A discutir, logo após a dedução em sala:

- Dependência da Energia dos raios χ (fotons) com a frequência e o comprimento de onda, o mesmo para o momento, $|E = h\frac{c}{\lambda}; p = \frac{h}{\lambda}|$.
- Variação do comprimento de onda depende somente do ângulo de espalhamento θ . (não depende do comprimento de onda inicial dos ftons incidentes).
- Os ele espalhados são livres, de materiais de elementos leves como o Carbono. Usa-se basicamente grafite ou parafina, materiais com ligações não iônicas. (8,9)
- Dependendo da energia inicial do fton, o eletron poderá ter velocidade relativística. Um teste crucial da teoria da relatividade restrita pode ser feito então experimentalmente (ver seção 4).
- Como prova da existência dos ftons podemos provocar um segundo espalhamento onde o fton incidente seria um espalhado anteriormente por outro eletron, como fez Compton mais tarde, conforme mostra a figura. (2) Tem-se assim a direção do fton a partir do primeiro eletron até o segundo espalhado (Compton e Simon, Phys. Rev. 1925). (10) Esta discussão pode ser reforçada com as recentes experiências de comprovação dos ftons de Clauser e Jayers (conforme Eisberg - vol.4 seção 30-4). (11)
- A constante $\lambda_c = \frac{h}{m_o c}$, com dimensões de comprimento de onda, chamado de " λ de Compton para o eletron", que para esta partícula, vale $0,0243 \text{ \AA}$, o que nos remete para a seção a seguir.

4 - ORDENS DE GRANDEZA

Consideramos inicialmente três tipos de fotons incidentes, em colisão com eletrons livres, espalhados a 90° . O primeiro, de energia muito baixa, na faixa do visível ($\lambda = 6.000 \text{ \AA}$, amarelo de sódio).⁽¹²⁾

O segundo, raio X da raia K α do Molibdênio ($\lambda = 0,71 \text{ \AA}$, usado inicialmente por Compton), e o terceiro fotons γ de Cobalto 60 (emissão de dois raios de 1,33 Mev e 1,17 Mev, com média monoenergética de 1,25 Mev, $\bar{\lambda} = 0,010 \text{ \AA}$).

Com a variação do comprimento de onda $\Delta\lambda$ não depende da radiação incidente, teríamos para cada um dos fotons espalhados a 90° :

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos\theta) \qquad \theta = \frac{\pi}{2}$$

$$\Delta\lambda = \lambda_c = 0,0243 \text{ \AA}$$

Numericamente:

λ'_1	λ_1	$\lambda_c = 6.000,0243 \text{ \AA}$	$\frac{\Delta\lambda_1}{\lambda} = 10^{-6}$ — impossível medir; excede sensibilidade de qualquer aparelho
λ'_2	λ_2	$\lambda_c = 0,7343 \text{ \AA}$	
λ'_3	λ_3	$\lambda_c = 0,0343 \text{ \AA}$	$\frac{\Delta\lambda_2}{\lambda} = 0,034$ — variação detectável (Compton mediu 0,02 \AA)
			$\frac{\Delta\lambda_3}{\lambda} = 2,43$ — ideal para experiência, variação enorme de $\approx 250\%$

Por outro lado, teríamos para os eletrons correspondentes, espalhados a um ângulo θ :

Direção θ :

$$\text{tg}\theta = \left| \left(1 + \frac{\lambda_c}{\lambda} \right) \text{tg} \frac{\theta}{2} \right|^{-1} \quad \text{— obtida das conservações de } \vec{p} \text{ e } E \text{ e da relação de Compton}$$

Energia Cinética e velocidade:

$$E_{ce} = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'} \right) = h(\nu - \nu') \quad \text{— cons. de } E$$

$$v_e = \left| 1 - \left(\frac{E_{oe}}{E_e} \right)^2 \right|^{1/2} \cdot c \quad \text{— cons. de } E; E_c \text{ relativística}$$

$\therefore$

	$\lambda_1(\text{am})$	$\lambda_2(\chi)$	$\lambda_3(\gamma)$
$E_{ce}(\text{Mev})$	$7,0 \cdot 10^{-15}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-1}$
$\frac{ve}{c}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$4,8 \cdot 10^{-2}$	$9,2 \cdot 10^{-1}$

Os exemplos mostram a importância das ordens de grandeza para a verificação e o real significado da "colisão", um fato não discutido nos cursos e textos com destaque.

Para o terceiro caso, temos energia transferida para o eletrôn suficiente para adquirir velocidade relativística. Didaticamente, é hora de se contrapor os resultados aos da física clássica, calculando-se "erradamente" a velocidade dos eletrons espalhados e depois, comparando com a expressão relativística, como a seguir explicitamos:

$$E_{3\gamma} = 1,25 \text{ Mev} \quad \lambda = 0,01 \text{ \AA} \quad \theta = \frac{\pi}{2} \quad E_{ce} = 0,88 \text{ Mev} \quad \frac{v}{c} = 0,92$$

- Classicamente teríamos: $E_{ce} = 0,88 \text{ Mev}$ $v = \frac{2E_c}{m}$

$$v = 5,56 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad \text{e} \quad \frac{v}{c} = 1,85 (!) \quad (16)$$

A discutir em sala: Não existe tal velocidade, a experiência não a confirma, ⁽¹²⁾ e nesta circunstância damos um crédito a indução.

$$E_c = \frac{p^2}{2m} = \frac{1}{2} mV^2$$

Através de cálculos simples mostra-se que, para:

E_c até $\approx 10^{-1} E_o$ pode-se usar a expressão clássica. O exemplo do eletrôn em recuo após o choque com fatores do Molibdênio K_α (raios χ) fornece, tanto pela expressão clássica, quanto pela relativística.

$$v_e \approx 1,4 \cdot 10^7 \text{ m/s} \quad (\text{em primeira aproximação})$$

Pelas ordens de grandeza percebemos que seria muito mais convincente na época a demonstração por Compton dos resultados através da radiação γ e não χ como realmente aconteceu.

Estas colocações levam a uma questão essencial: Por que Compton usou raios χ e não raios γ para suas primeiras experiências?

Isto nos leva a seção a seguir:

5 - ELEMENTOS HISTÓRICOS RELATIVOS À QUESTÃO DO ESPALHAMENTO

Compton publicou um breve artigo no American Journal Of Physics (29-817, 1961) ⁽¹³⁾ com destaque para a evolução dos acontecimentos à época de sua primeira publicação. Usando um espectrômetro (desenvolvido por Bragg, o melhor disponível) detectou uma variação de 0,02 Å no comprimento de onda da radiação X incidente. Sua conclusão revolucionária (palavras dele) quase não foi publicada porque Duane (chefe da comissão para publicação do relatório) achou que as evidências eram inconclusivas. Resistência? Em parte talvez, mas de fato uma variação centesimal poderia muito bem ser devida às calibrações do equipamento. É verdade que outros pesquisadores já vinham indicando variações no comprimento de onda da radiação espalhada, denominando-as mais "suaves" dado seu menor poder de penetração na matéria, ou sua maior absorção.

Na época, os raios γ e seu espectro não eram tão bem conhecidos quanto os raios X, e também o espectrômetro de Bragg não funcionava bem para detecção de radiação γ . Assim, em primeiro lugar temos a razão de ordem experimental, tecnológica. ⁽¹⁴⁾ Compton não tinha elementos suficientes para chegar a resultados quantitativos "convincentes" na época, com radiação (ou ftons, na sua interpretação) mais energéticos.

por exemplo: Knipping, Friedrich, La e; Ann Phys (1913)
W.H.Bragg e W.L.Bragg - Proc.Roy.Soc. A-88 e A-89 (1913)
A.S.Eve, Phil.Mag. 8(1904)
R.D.Kleeman, Phil.Mag-(1908)
JPV.Madren, Phil.Mag-(1909)
(todos citando variação de radiação γ , citados por Bartlett em Am.J.Physics, 1964). ⁽¹⁴⁾

Compton também cita Debye, ⁽¹³⁾ que publicaria pouquíssimo tempo depois, teoria equivalente à sua em Physik, 1923, embora não cite pesquisadores que já haviam concluído qualitativamente a dependência da variação de λ com o ângulo θ de espalhamento, como Florence (Phil.Mag.-1910) e Sadler e Mesham, Phil. Mag. - 1912

De qualquer maneira, a variação do poder de penetração da radiação espalhada (ainda numa visão clássica) foi inicialmente detectada pelos inúmeros pesquisadores (principalmente ingleses e alemães) através da radiação γ , o que é compreensível depois dos cálculos da seção anterior.

Em segundo lugar, e talvez não menos importante, temos uma razão histórica de autoridade; contestar Thomsom em sua teoria clássica era um problema que nem todos os estudiosos estavam dispostos, daí Compton ter optado por apresentar sua teoria a partir de dados seguros, apesar da pequena variação do comprimento de onda. Para reforçar esta razão, lembramos um texto altamente respeitado na ocasião, de autoria de G.W.C.Kaye,⁽¹⁴⁾ que afirmava "Todas as substâncias quando expostas à radiação X, produzem raios χ (secundários) que são idênticos aos primários em qualidade".

Por qualidade, entendia-se na época poder de penetração e comprimento de onda.

Como as experiências com raios γ levaram alguns pesquisadores na época a concluir o resultado de Compton, pelo menos qualitativamente, e ele próprio parece ter se interessado pelo problema a partir de observações com esta radiação, este problema só fica resolvido pelas razões aqui discutidas.

Uma outra talvez tenha sido de ordem regional, uma vez que o centro de referência desta pesquisa na época era a Europa. A quase não publicação do jovem Compton (que passara um período em Cavendish-Inglaterra) pode ser também a uma certa "desconfiança" das conclusões seja a nível experimental e seu refinamento, seja pela ousadia teórica, feitas em terreno americano, por um cientista americano.

Em resumo, temos então razões de ordem experimental e de paradigma, ainda que o modelo de foton já fosse conhecido por todos depois do estudo de Einstein do Efeito Fotoelétrico (1905) e das medidas de Millikan que comprovaram os valores da Função Trabalho (1913).

Esta discussão histórica nos parece pertinente para ser levada em classe, depois de cálculo do tipo apresentado na seção 3.

Saindo da perspectiva internalista, razões muito fortes impediram o bom conhecimento do espectro dos raios γ ainda na década de 20.

Os estudos foram interrompidos durante a segunda guerra, porém por motivos estratégicos era urgente o conhecimento do espectro emitido pelo Rádio e outras fontes, para depois sua aplicação em experiências acadêmicas delicadas como a do espalhamento. Assim, antes da guerra, estudava-se intensamente o espectro, para que fosse tão conhecido como aquele da radiação X.⁽¹⁴⁾ Não houvesse a guerra Compton deveria ter, quase certamente condições para usar a radiação mais energética.

A nível experimental, vale uma discussão com os alunos, sendo perfeitamente possível de se montar um equipamento demonstrativo. Isto nos leva à seção posterior.

6 - A EXPERIÊNCIA "DE COMPTON" A NÍVEL DIDÁTICO

Estudo do espalhamento de uma radiação-fotons do Cobalto 60, ou do Césio 137.^(15,9)

Uma experiência factível pode ser realizada com contadores simples da radiação espalhada, ou mesmo através de estudo do poder de penetração desta radiação. Esta experiência complementaria o equipamento usado em Física I experimental do IFUSP, onde se inicia o curso com radioatividade. Se optarmos por estudo de penetração em material, estaremos obedecendo a evolução histórica. No início do século era o único meio de se estudar radiações. Pode-se também optar pela detectação direta e amplificada por um analisador, que fornece diretamente a energia dos fotons espalhados em função do ângulo de espalhamento θ . Assim, temos E -do foton incidente e E' -do foton espalhado, conhecidas para vários ângulos.

Não é fácil medir-se a velocidade dos eletrons com equipamentos simples, porém é fácil mostrar seus traços em câmara de Wilson didáticas. Assim, com o material de Carbono imerso em câmara, podemos ver as direções dos eletrons e estimar suas velocidades comparando-se o tamanho dos traços. (baseados na exp. de Wilson e Bothe-).⁽¹⁰⁾

Conhecidos os dois comprimentos de onda e o ângulo de espalhamento, podemos calcular a relação $(\frac{h}{m_0 c})$ para o eletron (e mesmo o valor de h). Os resultados de Bartlett,⁽¹⁵⁾ em 1963 são muito próximos do valor aceito. (0,0239 Å contra 0,02426 Å).

⁹ Com os valores adotados de m_0 - eletron - e da velocidade da luz, no vácuo, c .

Foram usados duas fontes de Co_{60} . A primeira para medidas do feixe direto, de intensidade muito baixa (0,5 m Curie) e a segunda para medidas do feixe espalhado a vários ângulos, de maior intensidade (5 a 10 millicurie).

Pela análise do artigo, percebemos que o equipamento pode ser montado sem maiores problemas em escola razoavelmente equipada.

Uma outra maneira de se detectar o eletrôn é através de campo magnético aplicado perpendicularmente à câmara. Assim, o raio da trajetória circular pode fornecer a velocidade inicial do eletrôn, imediatamente após o espalhamento, com relações simples, já conhecidas por alunos no curso de eletromagnetismo, nível física III.

A inspeção do eletrôn espalhado não precisa ser feita necessariamente, porém creio ser uma boa e talvez única oportunidade de se trabalhar com uma câmara de neblina no ciclo básico. A rigor, para o efeito Compton, basta estudarmos a radiação espalhada através do ângulo, e daí proceder ao cálculo da constante de Compton.

Didaticamente, quando se usa fonte de Co, o material que fornece eletrons pode ser metálico, com eletrons ligados, o que não ocorre com os raios X. Esta é uma questão interessante para ser discutida e voltar-se às ordens de grandeza. A função trabalho dos metais é da ordem de eletrôn-volts, enquanto a fonte tem energia da ordem de 1,0 Mev. Assim, pouco importa o uso do material com muitos eletrons livres, de ligação não iônica.

Seguem esquemas do material a ser possivelmente empregado na experiência. Não discutiremos aqui detalhes e cuidados experimentais, por não ser esta a intenção de nosso trabalho.

a - Esquema para Experiência de Compton

Fonte: Co 60 ou Ce 137, baixa intensidade. (15)

Detector: Medidas do coeficiente de absorção (μ) com folhas metálicas de igual espessura (mais demorada) ou medidas diretas da Intensidade dos ftons espalhados (mais rápida).

Material: Grafite (razões históricas) ou Metal - (discutir - o problema dos eletrons ligados, ou pospor discussão para depois do efeito fotoelétrico).

OBS.: O detector poderá ser deslocado por rotação, para tal estará sobre um goniômetro para diferentes ângulos.

b - Câmara de neblina (caso se deseje obter trajetória dos eletrons).

Material de espalhamento imerso em câmara didática de neblina. Atmosfera com vapor supersaturado de mistura metanol-água, resfriadas por gelo seco. Ver esquema. (8,9)

c - Dispositivo para espalhamento preferencial a 90° . (9)

Montagem da fonte-detector em extremos de círculo revestido do material que cederá eletrons.

OBS.: Na mesma geometria circular, pode se conseguir ângulos diferentes de 90° .

7 - COMENTÁRIOS, CRÍTICAS E CONCLUSÕES

As seções anteriores mostram, a nosso ver, um caminho para introdução à Física Moderna que é mais rico conceitualmente que as abordagens comuns, via Radiação térmica-corpo negro e cavidades-e Efeito Fotoelétrico. A princípio, a experiência pode ser implementada em curso de Física IV. Insisto no problema das outras carreiras além da Física.

Poucas escolas de Engenharia (sobretudo dentre as particulares) apresentam algum conteúdo de física moderna (século XX) em seus currículos. Os alunos quase não têm chance de discutir dependência de energia com frequência, conceito de foton...

Por outro lado, quando se estuda algo a respeito, valoriza-se em demasia o efeito fotoelétrico, problema didaticamente mais pobre.

Nesta perspectiva, pode-se discutir logo após o espalhamento o problema dos fotoeletrons, com as imprescindíveis ordens de grandeza (foton de baixa energia, absorção do mesmo pelo eletrôn, valores médios de função trabalho e, principalmente a não conservação da quantidade de movimento do sistema foton-eletron).

Algumas outras questões podem ser levantadas ao longo do tema, ou após seu "encerramento, como por exemplo:

Dedução, tanto da relação de Compton, quanto da relação entre os ângulos de espalhamento do foton e do eletrôn a partir dos princípios de conservação.

- Enriquecimento da experiência; como uso de câmara de bolhas, introdução de Campo de Indução perpendicular ao movimento do eletrôn e possível medida de sua velocidade, a partir do raio da trajetória circular.

- Previsão da dinâmica da alta energia: choque de eletrôn com partícula de massa nula, levando a relação semelhante à de Compton:

onde E e E' são as energias inicial e final da partícula "estranha";

como $E' \neq 0$, prova-se que não pode haver absorção da partícula pelo eletrôn.

- Leitura de artigos, desde originais de Compton, Wilson e Bothe, até introdução aos raios cósmicos, positron, trabalhos

de Dirac e outros.

- Introdução à visão moderna das interações eletromagnéticas, a troca de ftons, diagramas de Feymann e momento linear, angular e energia de campo.

- Diferenças entre efeito fotoelétrico e de Compton.

- Reflexão da luz por eletrons livres-Lei de Snell-Descartes depois do conceito de foton, mesmo para refração, dispersão, polarização...

- Espectro eletromagnético revisitado, aplicações de raios x e raios γ . (interesse para a física aplicada)

- Desconfiança da conservação da energia a nível atômico na década de 20, por razões da dualidade, teoria de Bohr, Kramers e Slater (1924) trabalhos de Dirac (década de 30), experiências de Shankland (aparentemente favoráveis à teoria B.K.S. e experiências de Jacobsen, confirmando os princípios de conservação (estudo mais longo, talvez para uma iniciação científica).⁽¹⁴⁾

- Princípios de conservação, isotrópia do espaço e homogeneidade do tempo.

Após a discussão dos trabalhos de De-Broglie, esta lista de questões pode muito bem ser ampliada sempre numa visão mais concêntrica -princípios de conservação, microfísica evitando-se a visão linear, em fase com o desenvolvimento do curso no tempo.

Um esboço de "mapa conceitual" sobre o espalhamento, levaria a algo do tipo abaixo:

O tema faz uma transição entre física clássica e as fronteiras da mecânica quântica (foton) e relatividade (eletron espalhado por ftons γ), o que permite a uma discussão quase epistemológica com os alunos, centrada na validade de teorias, analogias, revolução científica modelos... que, pela oportunidade, talvez seja o melhor no que se refere a conteúdo para alunos

que estejam encerrando o ciclo básico. Pode-se ter assim, pedagogicamente, clima para a extensão do conhecimento em física para além da racionalidade e do formalismo. O lado sentimento⁽¹⁾ deve aflorar e conviver com os demais.

Esta transição leva ao questionamento do que foi feito na primeira parte do trabalho, onde as ondas eletromagnéticas foram "mapeadas classicamente", sem a menor referência à frequência ou ao comprimento de onda, como grandezas fundamentais para a energia das ondas. Mas isto leva à nossa última sessão.

QUESTIONAMENTO DO MAPA CONCEITUAL APRESENTADO NA PARTE I

Afinal, como fica o mapa conceitual de ondas eletromagnéticas depois dos ftons? Dificilmente trabalhamos esta questão em nossos cursos.

Pensamos que, pelo menos aqui, será necessário uma volta à parte inicial do trabalho, provocando uma discussão que procure cotejar energia função ora da intensidade, ora em função da frequência. Se procuro privilegiar a grandeza energia-relação que mede um estado, quase "coisa", preciso, pelo menos, explicitar sua dependência.

Achamos que é possível uma discussão deste tipo com os alunos.

Será possível construir-se um mapa conceitual que seja didaticamente aberto para as duas possibilidades? Talvez, construindo um eixo e tentando-se trabalhar as grandezas do ponto de vista clássico de um lado e, quântico do outro, procurando as analogias, quando for o caso e incorporando a "nova realidade" obtida da mecânica quântica. Teríamos então, elementos para indicar a contrapartida da Intensidade clássica com a Densidade de probabilidade, e incluir grandezas novas, sem paralelo clássico, como o "spin". Esta tentativa não será feita aqui, porém tentaremos reler nossa estrutura agora enriquecida de novos dados e relações.

No centro daquela, cabe inserir características da "nova partícula de luz" estabelecendo uma convivência entre as grandezas anteriormente estabelecidas e as novas-frequência e/ou comprimento de onda.

O novo mapa abaixo representado carrega a interpretação ondulatória e a de partícula, admitindo uma co-existência entre as

duas, sem indicar explicitamente domínios de validade de cada uma, interpretações distintas (probabilística ou determinista) principalmente por falta de Teoria (aqui, ou num curso, a esta altura).

A continuidade das discussões, com princípio da incerteza e mecânica quântica dá entretanto elementos para um novo retorno à estrutura, nova crítica, novas inserções, onde as grandezas características das partículas (U e $\vec{p}$) deveriam compartilhar da estrutura com as grandezas características das ondas (ν e λ).

A ESTRUTURA RENOVADA

Trabalhando um conteúdo como o fizemos aqui e participando do curso C. e R. temos chance de estender as indagações relativas ao ensino de Física. Questões de alcance e que demandam esforço de grupo para respostas alternativas devem ser colocadas, como:

- A formação em licenciatura continuará não permitindo uma visão ampla dos problemas de conteúdo? Mesmo para bacharelado.

- A formação básica para outras carreiras continuará privilegiando a visão determinista, empirista e indutiva do empreendimento científico? Ela não é responsabilidade também de físicos do século XX?
- Textos, apostilas e cartilhas continuarão sendo cegamente adotados?
- De maneira geral, é ainda válido, hoje, a divisão do conteúdo concentrada quase que totalmente em física clássica?
- Por seu lado, a introdução de física moderna do ciclo básico com bastante força, não poderá levar ao abandono do arcabouço teórico experimental da física e ciência fundamentais?
- A física aplicada continuará aumentando o descompasso com os cursos de física I a IV, seja pelo seu avanço, seja pelo atraso dos cursos?
- A nível do segundo grau, os conteúdos continuarão sendo parametrizados pelo vestibular para as escolas "boas" e por coisa alguma para as escolas públicas? A física moderna não chegará lá?
- A introdução do ensino por temas conseguirá efetivamente torná-lo mais dinâmico e articulado, estimulando a crítica e a visão do todo? Ou, uma vez adotado, não esbarrará em problemas de estrutura e/ou conjuntura do sistema escolar, apresentando resultados semelhantes aos atualmente criticados?

Mas isto é motivo para outras seções e contra-seções que não fazem parte deste trabalho. Ficamos por aqui, que pretensão tem limite e ninguém é de ferro!

BIBLIOGRAFIA

NOTAS E REFERÊNCIAS

- (1) - Construção & Realidade no Ensino de Física - 2º sem. 86.
Manoel R. Robilotta. "C. & R..." ISFUSP, Jan. 85.
- (2) - "Solução Alternativa para a Formação de Professores de Ciências".
J.A. Angotti; tese de mestrado - IFUSP, nov. 82, cap. 3.
- (3) - Ensino de Ciências a partir dos problemas da comunidade.
Pernambuco, M.M.; Delizoicov, D.; Angotti, J.A.; Dal Pian, M.C.
"Abordagem Orgânica do Ensino Problematicador" - UFRN, julho 86.
- (4) - Mapa conceitual de Eletrostática. Salém, S. Tese de Mestrado IFUSP, 1986; cap. 3.
- (5) - Física, um curso universitário. Allonso e Finn, vols. I e II.
Ed. Edgard Blucher, 1972. Esta é a referência básica tomada para o conteúdo do trabalho.
- (6) - Ondas Eletromagnéticas. E. Wilner. Apostila 1, curso de Física Geral IV da FEI. Física Moderna, cap. 2. Textos usados pelos professores da disciplina naquela faculdade.
- (7) - Várias teses de mestrado de pesquisadores em ensino de Física de abordagem cognitiva, fundadas em Ausubel, na UFRGS.
- (8) - "A quantum Theory of the Scattering of X-Rays by Light Elements" Physical Review, 1923.
- (9) - Compton, A.H. X-Ray, Theory and Experiment,
- (10) - Citado por Compton, ref(9). Ver também Quantum Mechanics, vol. 1 - Tomonaga, S.I. ed. North-Holland, 1968 para a discussão das experiências de câmara de Wilson para observação da trajetória dos elétrons.
- (11) - Física, Fundamentos e Aplicações. Eisberg & Lerner, vol. IV (30-4) Mc Graw Hill, 1982.
- (12) - Pode ser considerada qualquer radiação na faixa do visível.

vel, bem como a ultra-violeta. É importante salientar isto para uma posterior discussão em Efeito Fotoelétrico.

- (13) - "The Scattering of X Rays as Particles, Compton, A.H., Am. J. Physics - 29,817. (1961)
- (14) - "Compton Effect: Historial Background, Bartlett, A.A., Am. J. Phys. 120. (1964)
- (15) - "Compton Effect: A simple Laboratory Experiment". Bartlett, A.A., Am.J.Phys. 127. (1964)
- (16) - Módulo de Relatividade - IFUSP 1980. Rudinger, E; Pernambuco, M; Delizoicov, D; Caldas, I; Angotti, J.A.