

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE FÍSICA

ESTRUTURAS CONCEITUAIS NO ENSINO DE FÍSICA  
UMA APLICAÇÃO À ELETROSTÁTICA

Dissertação de Mestrado em  
Ensino de Ciências (Modali-  
dade Física) - Instituto de  
Física e Faculdade de Edu-  
cação - USP

SÔNIA SALÉM

São Paulo  
1986

## RESUMO

Este trabalho é motivado por uma reflexão sobre problemas do ensino de Física, particularmente os relativos a cursos em nível universitário. Um problema importante, a ser abordado nesse nível de ensino, é o do conhecimento de teorias físicas, entendidas como entidades globais. Cada uma dessas entidades possui sua própria unidade, passível de ser conhecida, interpretada e dominada pelos estudantes.

Argumentamos que o conhecimento da estrutura conceitual de uma teoria é essencial para se saber Física de um modo unificado e crítico. Concentramos nossa atenção sobre essa dimensão do conhecimento de Física, discutindo as características principais da estrutura de uma teoria e os problemas relativos à sua introdução em um dado curso.

Como aplicação dessas idéias, fazemos uma análise da estrutura conceitual da Eletrostática, apresentamos um mapa que a representa graficamente e discutimos as possíveis "leituras" ou visões de mundo associáveis a essa estrutura.

Finalmente, propomos um instrumento para a avaliação do conhecimento da estrutura conceitual da Eletrostática adequada a estudantes de um curso básico de Física, na Universidade.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUÇÃO.....	1
II. FRAGMENTAÇÃO E UNIFICAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA.....	9
II.1. Fragmentação do Conhecimento no Ensino de Física.....	9
II.2. Unidades na Física.....	23
II.3. Implicações no Ensino.....	37
III. ESTRUTURAS, TEORIAS E ENSINO.....	46
III.1. Unidade da Estrutura: O Todo e o Jogo das Partes.....	46
III.2. Transmissão da Estrutura.....	57
III.3. Representação da Estrutura: Mapas Conceituais.....	63
IV. RECONSTRUÇÃO E LEITURA DE UMA ESTRUTURA CONCEITUAL: A ELETROSTÁTICA.....	69
IV.1. Introdução.....	69
IV.2. Estrutura Conceitual da Eletrostática.....	71
IV.2.1. O Contexto da Eletrostática.....	71
IV.2.2. Estrutura Conceitual da Eletrostática.....	76
IV.2.3. Mapa Conceitual da Eletrostática - Reconstrução a Partir da Relação "Carga-Campo".....	78
IV.3. Leituras Alternativas do Mapa Conceitual da Eletrostática.....	101
IV.4. A Diversidade na Unidade.....	117
IV.5. Conclusões.....	122

	Página
V. UM INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA CONCEITUAL..	125
V.1. Contexto e Estratégia.....	125
V.2. Breve Histórico e Apresentação do Instrumento..	131
V.3. População e Dados.....	142
V.3.1. População: Alunos Testados pelas Matrizes	142
V.3.2. Os Dados.....	146
V.4. Sobre o Tratamento dos Dados.....	161
VI. INTERPRETAÇÕES DOS DADOS E CONCLUSÕES.....	166
VI.1. Problema 1: O Conhecimento da Estrutura no Iní- cio do Curso.....	167
VI.2. Problema 2: Rupturas na Estrutura no Fim do Cur- so.....	180
VI.3. Problema 3: A "Montagem" da Estrutura.....	187
VI.4. Problema 4: Organização por Núcleos, Comparação Início e Fim do Curso.....	213
VI.5. Problema 5: Análise da Estruturação Interna de um Núcleo da Teoria: Lei de Gauss.....	223
VI.6. Conclusões.....	232
VII. UMA SÍNTESE FINAL.....	234
NOTAS E REFERÊNCIAS.....	237
BIBLIOGRAFIA.....	242
APÊNDICES	

## II. FRAGMENTAÇÃO E UNIFICAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA

### II.1. FRAGMENTAÇÃO DO CONHECIMENTO NO ENSINO DE FÍSICA

A sensação que muitos estudantes têm, ao final de um curso, de insegurança e dependência em relação ao seu saber, de que as informações transmitidas não lhes capacitam a desenvolver as potencialidades de aplicação, explicação e transformação, implícitas no conteúdo ensinado é, a nosso ver, uma manifestação de não terem se apropriado do conhecimento como um todo. Por isso, o aprofundamento da compreensão dos processos que favorecem essa apropriação, é um problema fundamental da educação. Acreditamos que uma das causas relevantes dessa situação, particularmente no caso em que estamos envolvidos, relativo ao ensino de Física, é a falta de unidade dos conteúdos transmitidos.

De um modo geral, na atual estrutura educacional brasileira, desde os primeiros anos na escola primária, até os cursos superiores, o ensino se dá de modo extremamente fragmentado. As matérias são frequentemente ensinadas como se constituíssem campos isolados de conhecimento, sem relação uns com os outros, acarretando uma forte compartimentalização na mente do estudante. Como está bem descrito e ilustrado por R. Fonville e O. Cecon em "Cuidado, Escola!"<sup>(4)</sup>:

"Pela forma com que são ensinadas, cada matéria está destinada a ser cuidadosamente arrumada em sua gavetinha, uma para Gramática, outra para Geografia, uma para História, outra para Ortografia, etc., e cada gaveta não se comunica com as outras. Elas se abrem, uma de cada vez, na hora certa. Mas o aluno que dispõe de uma gaveta bem cheia de conhecimentos ortográficos, por exemplo, só os utilizará nos exercícios de ditado, e seus outros textos escritos estarão cheios dos erros mais grosseiros. As gavetinhas têm seus conteúdos bem hierarquizados.

Algumas guardam coisas de maior valor. Na escola primária, por exemplo, uma das maiores riquezas que se pode arrumar numa gaveta é a Ortografia. Segundo o domínio que se tenha dela é que se poderá prosseguir nos estudos.

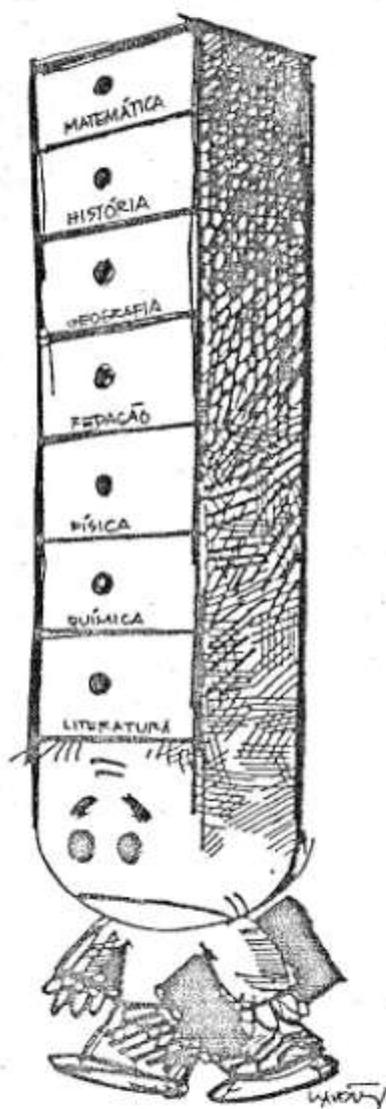
Outras gavetas são menos consideradas. Pouco importa à escola que se tenha uma gaveta repleta de boa música ou de belos desenhos.

O ensino da língua materna, tal como se pratica ainda na maioria das aulas, é um exemplo típico de parcelização arbitrária do saber. Na verdade, ele é cortado em fatias: vocabulário, conjugação, gramática, pronúncia, ortografia, redação, leitura, análise de textos, etc..

No entanto, quando um adulto fala, lê, escreve, não passa pela sua cabeça afirmar que neste momento está usando vocabulário ou gramática ou pronúncia.

Dirá simplesmente:

- . discuti com amigos,
- . passei os olhos no jornal,
- . consultei a revista,
- . escrevi a carta, etc.." (4)



Essa atomização do conhecimento impede muitas vezes o estudante de pensar ou resolver problemas fora da estrutura disciplinar da escola, principalmente quando eles não estão perfeitamente localizados em uma das "gavetinhas". Muitos professores já devem ter passado por uma situação em que um aluno, quando solicitado a resolver uma questão, quer saber "a que parte da matéria se refere aquela questão", para poder se situar, antes de procurar respondê-la. Os próprios professores tomam, em geral, o cuidado de limitar o conteúdo de suas aulas e avaliações àqueles assuntos particulares que estão desenvolvendo, selecionando apenas as situações que neles se enquadram, o que as torna quase sempre abstratas e artificiais. Assim, ocorre que, quando o estudante se vê diante de algum problema fora da escola, é muito pouco provável que ele consiga enquadrá-lo em um dos compartimentos fornecidos pelo professor para que possa resolvê-lo.

Na escola, o conhecimento científico é dividido em disciplinas ou matérias que, em geral, correspondem às áreas de pesquisa científica. Essas, por sua vez, são subdivididas em tópicos que, em alguns casos, correspondem a especializações das áreas de pesquisa. Não discutiremos as causas dessa divisão, o que necessitaria de uma análise histórica e social do desenvolvimento da ciência, bem como do papel da escola enquanto instituição que se propõe a transmitir esse conhecimento. Para os nossos propósitos presentes, é suficiente notar que já houve épocas em que a ciência era composta de um corpo de conhecimentos único, que abrangia as hoje chamadas "Ciências Exatas" e "Ciências Humanas". Nessas épocas, em particular, a Física e a Filosofia não eram vistas como áreas distintas e separadas. Mais recentemente, esse tipo de distinção passou a ser feito e cada vez mais o chamado conhecimento científico foi crescendo e se subdividindo, abrangendo hoje um grande número de áreas ou campos de especialização.

Consideramos que essa evolução não é algo "natural" mas, ao contrário, está intimamente ligada ao papel da produção científica e da transmissão do saber, na sociedade. Assim, também no contexto da escola, a divisão do conhecimento científico em "disciplinas", tem fortes motivações de ordem histórica. Isso não significa, contudo, que essas disciplinas devam necessariamente ser vistas como departamentos estanques, sem integração entre si.

No caso particular do ensino de Física, por motivos que dizem respeito tanto ao seu desenvolvimento histórico-científico quanto a uma conveniência pedagógica, utiliza-se uma divisão em tópicos. No curso superior, por exemplo, ensina-se Mecânica Clássica, Eletromagnetismo, Termodinâmica, Relatividade, Mecânica Quântica, etc.. Em geral, esses tópicos são tratados como se fossem blocos isolados, sem relações uns com os outros, sendo a Física entendida meramente como a soma desses blocos, constituindo um aglomerado de partes, estático e fechado. Cada um desses tópicos, por sua vez, também é subdividido em partes que pouca integração têm entre si. Também nos cursos de segundo grau, a fragmentação do conhecimento de Física é marcante. Os alunos travam um contato, em geral muito superficial, com alguns poucos tópicos, sem ter uma noção de como estes se situam num conjunto mais amplo de inter-relações.

Uma situação que vivenciei pessoalmente ilustra bem esse tipo de visão da Física. Durante alguns anos consecutivos, lecionando Física em um curso superior de Licenciatura em Matemática (\*), passei um questionário a estudantes de primeiro ano, vindos de diferentes escolas de 2º grau. Através dele, pretendia extrair algumas informações sobre a formação desses alunos no ní-

---

(\*) F.F.C.L. de Noema, São Paulo.

vel secundário, bem como suas expectativas em relação ao curso em que estavam ingressando. O questionário continha algumas perguntas específicas sobre a disciplina de Física, duas das quais têm particular interesse aqui:

"Já estudou Física antes? O que? e

"No seu ponto de vista, o que é Física?"

As respostas, ao longo de seis anos foram muito semelhantes entre si e revelaram, entre outros aspectos importantes, um forte desconhecimento da unidade do conteúdo tratado na Física. Quanto à primeira dessas questões, sobre o conteúdo de Física visto na escola, abaixo estão algumas respostas bastante representativas da maioria dos estudantes:

- Sim. Movimento retilíneo, movimento do corpo, massa, velocidade de um móvel.
- Sim. Estudei mecânica, movimento uniforme,  $v_m$ , velocidade escalar, cinética, leis de Newton, ótica, som,....
- Partes da mecânica e também da dinâmica.
- Sim. Mecânica, cinemática, movimento retilíneo uniforme, aceleração, reação do móvel, etc..
- Queda livre dos corpos, massa e volume, correntes, etc..
- Sim. Eletricidade, força, mecânica, vetor, etc..
- Estudei velocidade, tempo, espaço, cinética e resistores.
- Sim, com sinceridade acho difícil resumir o que eu aprendi em 7 anos de aprendizado em poucas linhas.
- Sim. Cinemática, MRU, MRUV, ótica, prismas, etc..
- Aplicação de fórmulas e problemas.
- Reflexões, ótica, elétrica (nenhuma delas a fundo). Algo mais que não recordo os nomes.

À segunda questão, sobre o que é Física no entender desses estudantes, as respostas abaixo também representam as idéias predominantes:

- É uma ciência que estuda os fatos físicos, ou seja, a separação das cores, a velocidade de um corpo, etc..
- A Física é o estudo da gravidade, velocidade, eletricidade e da mecânica.
- É uma ciência que estuda os movimentos ou que analisa, que calcula ou explica os movimentos.
- É parte da Matemática e dos fenômenos.
- É o estudo das velocidades, corpos e reações.
- É parte da ciência que estuda trabalho.
- São diferentes modos de fazer cálculo para acharmos o resultado do tempo, espaço, variação, etc..
- É o estudo de como um corpo pode se mover no mesmo sentido ou em sentido horário.
- É uma parte da ciência que estuda por exemplo
 

$v = \frac{x}{v_1}$	→ + ↔	(tempo, velocidade)
cálculo	vetores	
- É uma mistura de fórmulas, cálculos de acidentes físicos, que acontece na natureza.
- São métodos de cálculos.

Essas respostas, extraídas de duas classes contendo um total de 120 alunos, aproximadamente, não constituem exemplos isolados ao evidenciarem os seguintes aspectos do problema:

- a) Existe uma forte predominância do conteúdo de Mecânica, em relação ao restante da Física.
- b) Tanto a mecânica, como outros tópicos estudados, tal como a ótica, não são vistos como teorias unificadoras de determinados fenômenos e conceitos, mas como uma série de nomes, símbolos

los ou fórmulas isolados. Coisas como mecânica, cinemática, velocidade, força, reação, MRU, espaço, vetor, móvel, resistores, ... são colocadas num mesmo nível pela grande maioria dos estudantes.

- c) A visão da Física transmitida pelos estudantes limita-se basicamente aos tópicos que eles estudaram. A Física é aquilo que dela lhes foi apresentado, e o aspecto formal parece predominar em relação ao conceitual.

Essas respostas nos mostram que os estudantes que tiveram algum contato com a Física na escola secundária, dela retêm apenas um amontoado de nomes ou uma "mistura de fórmulas", sem qualquer unidade, revelando um "conhecimento" extremamente atomizado e superficial. Ainda que esses exemplos não constituam uma amostra estatística, acreditamos que os problemas que eles apontam não se restringem a casos particulares mas, ao contrário, evidenciam uma tendência predominante do ensino de Física de segundo grau.

A situação na Universidade pode não ser tão crítica, mas aí a fragmentação está também fortemente presente. Para analisarmos como ela se manifesta nesse nível de ensino, remetemo-nos à prática de quem estuda, essencialmente dada pelos elementos que compõem os cursos: aulas, livros didáticos, avaliações, etc., através dos quais se realiza a interação aluno-professor e aluno-conteúdo. Esses elementos podem ser considerados tanto a nível de cada disciplina, quanto ao do currículo como um todo. Não pretendemos fazer aqui uma análise ampla e profunda do problema, mas centraremos nossa atenção num aspecto particular, a fragmentação do conteúdo de Física.

Para analisar este conteúdo, tomamos por base os cur

dos do IFUSP<sup>(\*)</sup>, por ser esse o local onde vivenciamos na prática esse problema. Acreditamos, entretanto, que eles sejam representativos de uma situação mais geral dos cursos de Física no país.

No que concerne ao currículo, percebemos uma falta de integração entre as várias disciplinas que o constituem. Nos dois primeiros anos do curso (ciclo básico) a Mecânica Clássica (Física I e Física II), a Termodinâmica (Física II) e o Eletromagnetismo (Física III e Física IV), são tratadas num nível básico e com formalismo matemático relativamente simples. Nos terceiro e quarto anos do curso de Bacharelado, essas teorias são retomadas com ênfase no tratamento formal, em nível mais avançado, constituindo as disciplinas de Mecânica I e II, Eletromagnetismo I e II e Termodinâmica. (Ver Apêndice I).

Muitas vezes, ao longo desse currículo, não fica claro para os alunos qual é a relação entre os conteúdos tratados no curso básico e nas outras disciplinas do Bacharelado ou Licenciatura. Isso acontece, por exemplo, entre a Mecânica tratada nos cursos de "Física I e II" e aquela tratada nos cursos de "Mecânica I e II", ou entre o Eletromagnetismo de "Física III e IV" e aquele que se estuda em "Eletromagnetismo I e II". Ou ainda, o que existe em comum, se é que existe, entre "essas várias Mecânicas" e a "Mecânica Quântica", ou entre essa última e os tópicos tratados em "Estrutura da Matéria". Muitas vezes, o que unifica alguns conteúdos ou disciplinas são apenas os seus nomes ou uma linguagem em comum. Uma atitude frequente depois de se "passar" por uma disciplina, é engavetá-la e começar outra como se quase nada tivessem em comum.

Notamos no currículo do IFUSP, a ausência ou escassez

---

(\*) Instituto de Física da Universidade de São Paulo.

de cursos que abordem temas interdisciplinares de Física, isto é, que tenham como objeto de estudo fenômenos ou problemas relacionados a diferentes campos da Física. É também muito limitado o espaço para a análise de situações concretas que utilizem mais que uma teoria física, como seria o caso, por exemplo, de estudos sobre luz, energia, plasma, astrofísica, poluição do meio ambiente, física do corpo humano, etc..

Outra grande lacuna nos currículos dos cursos de graduação e de pós-graduação é a falta de uma abordagem histórica e filosófica da ciência, que pode ser extremamente importante para uma compreensão da Física de uma maneira mais global e crítica. Igualmente raros são os espaços para as aplicações de teorias físicas no mundo das "coisas", no cotidiano, ou também para suas aplicações e ligações com outras áreas de conhecimento como a Biologia, Psicologia, Engenharia, Química, Medicina, Filosofia, etc.. Também o contato dos estudantes com projetos e trabalhos de pesquisa atuais na área, quando existe, é assistemático e depende do interesse e iniciativa isolados de alguns estudantes e professores.

A fragmentação também está presente na estrutura interna de cada disciplina, e se manifesta tanto na forma como ela é descrita nos "Manuais de Informações" como, fundamentalmente, no seu tratamento no curso. Ainda que a organização do currículo tenha por base teorias físicas, isso não é reconhecido explicitamente, pois a descrição de cada uma das disciplinas que o constituem não é mais que uma simples relação de tópicos não relacionados entre si, como ilustra o quadro abaixo, para as disciplinas de Física III (FEP 201) e Física IV (FEP 202) <sup>(5)</sup>.

## FEP 201 Física III - 8-0

Eletrostática. Campo elétrico. Lei de Gauss. Potencial eletrostático. Condutores. Capacitância. Energia eletrostática. Corrente elétrica. Circuitos RC. Campo magnético. Leis de Biot-Savart e Ampère. Indução eletromagnética. Lei de Faraday. Indutância. Energia eletromagnética. Equações de Maxwell. Campos elétricos e magnéticos em meios materiais. (Inclui laboratório).

## FEP 202 Física IV - 8-0

Ondas eletromagnéticas. Circuitos de corrente alternada. Teoria eletromagnética da luz. Reflexão e refração. Polarização. Aplicações à óptica geométrica. Interferência. Difração. Radiação. Fenômenos quânticos. Efeito fotoelétrico. Átomo de Bohr. Ondas de De Broglie. (Inclui laboratório).

Ao longo dos anos, ao passar por várias dessas disciplinas, raramente os estudantes ganham consciência do modo pelo qual esses tópicos estão tacitamente relacionados e daquilo que lhes confere alguma unidade. Ou da razão pela qual, por exemplo, estão agrupados numa determinada disciplina e não noutra. As teorias físicas não são tratadas enquanto totalidades que unificam esses vários tópicos em que são apresentadas, e a visão da Física que sobra aos estudantes é, algumas vezes, tal qual a descrição de um Manual: uma série de nomes, numa determinada sequência.

No interior de uma disciplina, ou de uma teoria particular, a fragmentação aparece claramente quando analisamos livros didáticos ou apostilas em geral adotados nos cursos. Particularmente nos cursos básicos esses livros revelam uma compartimentalização do conteúdo, com capítulos estanques, cada um constituindo um "pacote", contendo textos mais exercícios relativos a uma parte da matéria. Sua organização é linear e construtiva;

os conceitos são introduzidos parte por parte, seriadamente, em geral, dos mais específicos e elementares aos mais gerais e complexos. Esse tipo de organização seriada assemelha-se a um "empilhamento" de conceitos, e é tal que muitas de suas inter-relações ficam omitidas e o resultado final nem sempre parece ter alguma unidade que o caracteriza enquanto um todo. Uma pilha de pedras pode constituir tanto um muro quanto simplesmente um monte de pedras.

A análise de um tópico particular da Física pode ilustrar como se dá essa compartimentalização. Tomamos como exemplo a Eletrostática, que será o conteúdo específico utilizado mais adiante nesse trabalho.

Uma sequência muito comum de apresentação da Eletrostática, é a seguinte:

carga elétrica - força elétrica/lei de Coulomb - campo elétrico - lei de Gauss - potencial elétrico - energia potencial.

Ocorre muitas vezes nesse tipo de sequenciação, o tratamento das mesmas situações ou fenômenos físicos segundo abordagens distintas sem que, no entanto, isso fique explícito, causando mal-entendidos para os alunos e reforçando uma visão fragmentada da matéria. O tratamento de situações que envolvem interação de cargas em repouso, por exemplo, é feito ora através do conceito de força, ora através do conceito de campo, ou ainda, mais adiante, através do conceito de energia. Salvo raras exceções, não fica claro que se trata da mesma interação, parecendo tratar-se de problemas ou situações totalmente independentes.

O campo eletrostático criado por uma distribuição de cargas pode ser obtido através da lei de Coulomb, da lei de Gauss ou do potencial eletrostático. Entretanto, cada uma dessas apli

cações é feita isoladamente e, frequentemente, o aluno utiliza um ou outro procedimento dependendo do "capítulo" ou da "parte da matéria" que está vendo no momento. Numa situação fora desse contexto disciplinar, ou na ausência de uma questão dirigida, dificilmente ele será capaz de optar diante dessas possibilidades ou até mesmo de reconhecê-las. A menos que haja um tópico específico que relacione leis ou conceitos abordados em capítulos diferentes, esses capítulos guardam uma certa independência uns dos outros ou, no máximo, sendo o "pré-requisito" dos seguintes. Os problemas no final de cada um deles selecionam situações em que somente aquele conceito ou lei discutidos devem ser trabalhados. Temos, assim, problemas que só envolvem a lei de Coulomb; ou o cálculo do campo elétrico através da lei de Gauss; ou a obtenção do potencial elétrico produzido por uma certa configuração de cargas, etc.. No caso específico da lei de Gauss, por exemplo, mesmo quando se dedica um item que a relaciona com a lei de Coulomb, apenas é mostrado que se pode deduzir uma a partir da outra, sob certas condições de simetria do campo elétrico. Trata-se de uma ligação apenas formal, do ponto de vista da lógica matemática. A equivalência dessas duas leis do ponto de vista do significado físico em geral não é discutida. Esses exemplos mostram que a eletrostática, enquanto um conjunto estruturado de relações entre conceitos, leis e modelos, que corresponde a um modo de conceber uma classe de fenômenos da natureza, não é explicitada. Ao contrário, ela aparece como uma justaposição de partes isoladas. E assim também ocorre com as outras teorias físicas.

A fragmentação do ensino de Física é implicitamente reconhecida pelos professores, quando ela é levada seriamente em conta nas avaliações que fazem dos alunos. Na grande maioria das disciplinas, essas avaliações são feitas através de provas es

critas. Essas provas são frequentemente bimestrais e contêm quase que somente questões e problemas relativos ao assunto desenvolvido naquele bimestre. Desse modo, a matéria é dividida em partes e cada parte é avaliada separadamente, cabendo a uma "prova semestral" a avaliação do conteúdo do semestre todo. Entretanto, o que essa prova faz é selecionar alguns problemas semelhantes aos das provas anteriores, de modo a "cobrir" toda a matéria e fazendo, não uma integração, mas uma soma das partes. Ocorre, então, que as provas acabam por respeitar e reforçar o saber fragmentado e em momento algum requisitam aos alunos uma visão de conjunto da matéria. Isso é coerente com a abordagem do curso, onde tal visão não é enfatizada.

Os problemas mencionados constituem algumas das manifestações da fragmentação do conteúdo no ensino de Física, cujas implicações podem ser situadas num contexto mais amplo de educação. Na concepção de Paulo Freire, por exemplo, esse tipo de fragmentação se identificaria ao que ele chama de "visão focalista" da realidade, segundo a qual as parcialidades de uma totalidade não são vistas integradas entre si na compreensão do todo<sup>(6)</sup>. Em suas obras, ele enfatiza inúmeras vezes a importância da captação que o ser humano faz de sua realidade como um todo, o que o leva a uma tomada de consciência profunda e o torna apto a interferir nessa realidade. Essa questão é abordada, por exemplo, quando ele discute o problema da investigação temática na alfabetização de adultos.

*"... A questão fundamental, ... está em que, faltando aos homens uma compreensão crítica da totalidade em que estão, captando-a em pedaços nos quais não reconhecem a interação constituinte da mesma totalidade, não podem conhecê-la. E não o podem porque, para conhecê-la, seria necessário partir do ponto inverso.*

Isto é, lhes seria indispensável ter antes a visão totalizada do contexto para, em seguida, separarem ou isolarem os elementos ou as parcialidades do contexto, através de cuja visão voltariam com mais clareza de totalidade analisada.

Este é um esforço que cabe realizar, não apenas na metodologia da investigação temática que advogamos, mas, também, na educação problematizadora que defendemos. O esforço de propor aos indivíduos dimensões significativas de sua realidade, cuja análise crítica lhes possibilite reconhecer a integração de suas partes.

Desta maneira, as dimensões significativas que, por sua vez, estão constituídas de partes em interação, ao serem analisadas, devem ser percebidas pelos indivíduos como dimensões de totalidade.... A captação e a compreensão da realidade se refazem, ganhando um nível que até então não tinham.

Quanto mais assumam os homens uma postura crítica na investigação de sua temática, tanto mais aprofundam a sua tomada de consciência em torno da realidade e, explicitando sua temática significativa se apropriam dela...

Por isto é que a investigação se fará tão mais pedagógica quanto mais crítica e tão mais crítica quanto, deixando de perder-se nos esquemas estreitos das visões parciais da realidade, das visões "focalistas" da realidade, se fixe na compreensão da totalidade".<sup>(7)</sup> (grifo do autor)

A fragmentação do conhecimento é, de certa forma, fruto da sua crescente especialização, ou, como diz Paulo Freire, do "especialismo". A necessidade de se investigar e pesquisar temas ou problemas específicos de um dado campo, como no caso da Física, sem tirar o mérito de suas conquistas tecnológicas, muitas vezes levam a uma departamentalização cada vez maior desses temas. Eles perdem, assim, a sua conexão com outros temas e com a totalidade em que se encontram, tornando a ciência cada vez mais

desumanizada e desumanizante. Sobre isso, Paulo Freire afirma:

"... ao contrário da especialização, contra a qual não poderíamos estar, os especialismos estreitam a área do conhecimento a tal ponto que os chamados "especialistas" se tornam geralmente incapazes de pensar mais além do seu delimitado campo. Pior, porque perdem a visão da totalidade de que a especialidade é apenas uma parte, não podem pensar corretamente nem mesmo no seu campo". (8)

Muitas vezes, são esses especialistas que lecionam nas Universidades, optando pelos cursos estritamente relacionados às suas áreas de pesquisa e transferindo aos estudantes essa visão parcelizada da realidade.

Na apresentação e discussão que fizemos acerca da fragmentação do conhecimento, quisemos ressaltar que, quando o ensino de um conteúdo se dá de modo fragmentado, torna-se difícil que ele seja efetivamente apreendido e incorporado. Não é possível, assim, o desenvolvimento de uma consciência crítica em relação ao conteúdo. Ao contrário, quando cada parte está conectada à totalidade em que se encontra, ela ganha significação e pode ser apropriada pelo estudante.

## II.2. UNIDADES NA FÍSICA

A fragmentação dos cursos de Física e a ênfase nos seus aspectos locais e formais, nos leva a refletir sobre quais as unidades que existem na Física e que poderiam ser apreendidas de modo consciente pelos estudantes. Sem a pretensão de esgotar ou responder de modo definitivo essa questão, que é bastante complexa, procuramos qualificar tais unidades, localizando níveis e

espaços em que se manifestam e apontando alguns caminhos ou tendências para o ensino de Física que permitam evidenciá-las. Nesse trabalho trataremos mais especificamente da unidade que pode ser identificada em uma teoria através de sua estrutura, ou seja, na forma como seus elementos se relacionam num dado momento do desenvolvimento científico.

Partimos do pressuposto de que o processo de conhecimento científico, particularmente na Física, é fortemente apoiado em teorias. Quando estamos integrados em um projeto de pesquisa, quer experimental, quer teórico, orientamo-nos em cada etapa por um "pano de fundo" constituído por teorias estabelecidas e aceitas pela comunidade científica. Mesmo que se trate de um trabalho extremamente técnico ou especializado, podemos enquadrá-lo em algum referencial teórico ou, indo mais além, estamos quase sempre trabalhando "em prol" desse referencial, aprimorando-o e articulando-o cada vez mais.

Essa idéia é discutida com profundidade pelo filósofo da Ciência, T. Kuhn. Segundo ele, uma das características mais notáveis da atividade científica é a existência em determinados períodos, na Física e em alguns outros campos da ciência, do que ele denomina de "ciência normal". Essa ciência normal, praticada por toda a comunidade científica durante a maior parte do tempo, é baseada em um conjunto de teorias, modelos, metodologias, instrumentais, etc. que são fortemente aceitos pelos cientistas e guiados por um "paradigma". Nas suas palavras, um paradigma é "...em primeiro lugar, um resultado científico fundamental que inclui ao mesmo tempo uma teoria e algumas aplicações típicas aos resultados das experiências e da observação. Mais importante ainda, é um resultado cujo completar está em aberto e que deixa toda espécie de investigação ainda por ser feita. E, por fim, é um resultado aceito no sentido de que é recebido por um grupo cujos mem-

bro *deixam de tentar opor-lhe rival ou criar alternativas. Pelo contrário, tentam desenvolvê-lo e explorá-lo numa variedade de formas...*" (9)

Na verdade, a noção de paradigma de Kuhn é muito mais abrangente do que está contido nessa afirmação; mas essencialmente é aquilo que constitui a base do trabalho do cientista nos períodos de ciência normal (10). Trabalhar um paradigma significa buscar problemas que possam ser por ele solucionados; significa também realizar experimentos bem definidos com instrumentais cada vez mais sofisticados que o tornem mais preciso; significa articulá-lo de tal forma que ele se torne cada vez mais de acordo com os fenômenos da natureza. Enfim, todo o trabalho do cientista durante esses períodos deve levar a resultados pré-determinados pelo paradigma ou teoria dominante, de modo que seu papel não é o de descobrir ou desvendar o desconhecido, mas de comprovar e articular o que já é conhecido.

É nesse sentido que Kuhn estabelece um paralelo entre a ciência normal e a solução de um "quebra-cabeça", onde juntamos todas as peças a fim de obter no final uma determinada figura que conhecemos de antemão. Qualquer outra figura não é possível, e se houver falha, essa é atribuída ao indivíduo que está montando o quebra-cabeça, nunca às regras do jogo ou às peças que o compõem. Analogamente a esse jogo, o cientista deve sempre chegar a resultados compatíveis com a teoria dominante no seu campo. Caso contrário, sua competência e reputação são abalados.

Essas idéias de Kuhn aqui colocadas esquematicamente têm, nesse momento, o papel de ressaltar o quanto a investigação científica, seja ela teórica ou experimental, é regida por teorias que determinam qual investigação deve ser feita, quais questões e problemas são legítimos e científicos, quais técnicas de-

vem ser utilizadas e qual tipo de resultados devem ser esperados.

A existência desses paradigmas tem também reflexos no ensino de Física, onde as teorias da "ciência normal" ocupam papel muito importante, sendo aquilo que essencialmente se busca ensinar ou aprender. Os currículos são estruturados com base nessas teorias, ainda que isso frequentemente não seja explícito e que essas sejam tratadas não enquanto totalidades, mas fragmentariamente, como procuramos retratar na seção anterior. Até mesmo parte das aulas práticas de laboratório têm como um de seus objetivos o aprendizado de teorias. Resumindo, poderíamos afirmar que as teorias constituem algo como o "sistema nervoso" do conhecimento de Física.

Uma característica essencial de uma teoria física é a de constituir um sistema de conhecimentos estruturados, no sentido de ser um todo cujas partes são articuladas e interdependentes. Os conceitos, leis, modelos, hipóteses, dados, que a constituem não representam um agregado ou justaposição de elementos isolados, mas relacionam-se entre si de uma certa forma, num dado momento (como discutiremos mais detalhadamente no Capítulo III). Além disso, como qualquer ciência, a Física tem uma história. História essa, que é parte da história humana e, portanto, não desvinculada dos aspectos sociais, políticos, econômicos e culturais do desenvolvimento de uma sociedade. Suas teorias, assim como quase tudo que a constitui, métodos, problemas, programas de pesquisa, etc., são frutos desse desenvolvimento e nele interferem.

Tais características possibilitam que a Física possa ser tratada segundo dois enfoques: um sincrônico e um diacrônico. De um lado, um corte no tempo tal como uma fotografia, que permite examinar a disposição ou organização de suas partes em um to-

do, a sua estrutura num período determinado. De outro lado, o seu desenvolvimento ao longo do tempo, suas origens e transformações, a sua história. Assim, estrutura e história são dimensões complementares no conhecimento de Física. Tanto uma como a outra, dão unidade à Física, envolvendo conjuntos de inter-relações correspondentes a determinadas visões de mundo que se transformam no tempo. Por isso, a explicitação desses aspectos da Física nos cursos onde se tenta ensiná-la opõe-se ao ensino fragmentado, favorecendo a aquisição de uma visão global da mesma.

Acreditamos que seja enriquecedor para a compreensão desse problema, fazer uma analogia com algo que para nós é bastante familiar e que apresenta muitos paralelos com a Física e seu conhecimento. Trata-se do exame de uma cidade, suas características gerais e possíveis modos de conhecê-la.

Uma cidade, além de indivíduos, é constituída basicamente por objetos arquitetônicos e ruas, "coisas e caminhos". Num dado período histórico, essas coisas e caminhos estão organizados espacialmente numa forma particular, que não é de todo homogênea, respeita algumas leis econômicas, sociais ou culturais e também regras específicas, como aquelas relativas ao tráfego. Assim, a cidade é dividida em regiões geográficas que podem ser mais ou menos importantes, centrais ou periféricas, mais ou menos ricas, com maior ou menor concentração demográfica e com diferentes funções no conjunto que é a cidade: comerciais, industriais, residenciais, etc.. Como toda espécie de conhecimento, o de uma cidade tem vários níveis, desde aquele de um indivíduo que nunca esteve lá, nem sequer a viu ou ouviu algo a respeito, até o daquele que vive na cidade há um longo tempo e conhece-a globalmente, a ponto de guiar com razoável desenvoltura um turista que vem visitá-la, além de poder descrever suas características mais importantes.

Vejamos o caso de alguém que conheça a cidade tal qual um motorista de táxi, há muito tempo trabalhando na sua profissão. Esse indivíduo consegue locomover-se na cidade com relativa facilidade. Em cada ponto onde está, situa-se no todo, tem noção do que existe à sua volta, sabe quais são as vias de acesso principais ou mais adequadas para ir desse ponto a outro. Se algum problema de tráfego - um congestionamento ou trecho em obras, por exemplo, impedi-lo de utilizar algum desses acessos, ele tem um certo traquejo para desviar e optar por outros. Além disso, ele é também capaz de instruir alguém perdido na cidade. O conhecimento que tem da cidade permite ao motorista de táxi, essencialmente, traçar na mente trajetos a serem percorridos e, portanto, planejar sua locomoção. Em outras palavras, ele tem um mapa mental da cidade, uma imagem de conjunto de sua organização espacial, dada pelos seus pontos significativos e caminhos que os ligam.

O mapa da cidade corresponde a essa imagem colocada no papel, e simboliza o conhecimento sincrônico da mesma. A sua elaboração envolve um conhecimento estrutural, especializado da cidade que manifesta-se de forma predominantemente racional e consciente e é fruto de uma capacidade de distanciamento, passível de ser transmitida por meio de esquemas ou desenhos. Essa é uma das dimensões importantes do conhecimento de uma cidade, que podemos associar à sua superfície como um todo, correspondente à sua extensão. Esse conhecimento, entretanto, não abrange tudo o que se pode saber a respeito dela.

Uma outra dimensão importante do conhecimento de uma cidade é a que chamaremos de local. Trata-se daquele conhecimento que temos, por exemplo, do bairro onde vivemos. É um conhecimento menos extenso e mais profundo, menos racional e mais intuitivo. É dado por uma vivência cotidiana com o local, presente em

ações do tipo ir comprar pão, frequentar o bar da esquina, bater papo com os vizinhos, ir à missa ou tomar sol na pracinha. Através dessa vivência no bairro, ganhamos uma percepção às vezes quase inconsciente de como vivem as pessoas, quais os seus afazeres e problemas, suas características físicas ou psicológicas mais marcantes. Ganhamos, essencialmente, um conhecimento íntimo e profundo, que preenche o conhecimento da cidade de significado, de algo mais pessoal e humano.

O conhecimento local ou profundo não tem o mesmo distanciamento e a mesma lógica do conhecimento especializado, em extensão. Se vou à padaria por um caminho ou outro, é algo que muitas vezes escapa à razão, que faço intuitivamente, que depende de um estado de espírito ou de uma motivação muito subjetiva. Poderíamos dizer que, de certa maneira, é um conhecimento com mais sentimento e emoção quando comparado àquele envolvido na criação do mapa da cidade. Requer mais envolvimento do que distanciamento e produz mais intimidade que mobilidade.

Essas duas dimensões do saber, a espacial e a local, a da extensão e a da profundidade, na realidade não se manifestam separadamente, mas combinam-se no conhecimento global da cidade enquanto um todo unificado. Esse conhecimento global, por sua vez, não é algo neutro e objetivo, igual para todos os indivíduos que a conhecem. A "leitura" que se faz de uma cidade tem componentes subjetivos, dados por uma percepção psicológica ligada tanto a aspectos particulares da história e vivência de cada um, como também a aspectos sociais como, por exemplo, a cultura onde se insere o indivíduo. A mesma cidade pode ser vista como feia ou bela, grande ou pequena, simples ou complexa, rica ou pobre, quente ou fria, etc..

A ausência de um conhecimento global da cidade pode ser bem representado pela situação de um turista que nela chega pela

primeira vez. Esse turista, por um lado, não tem uma visão de conjunto da cidade, um conhecimento em extensão. Não se situa no todo e não tem mobilidade. Ainda que passeando pela cidade "decore" alguns caminhos, seu conhecimento espacial é limitado. Se um problema de tráfego inviabilizar um caminho memorizado, ele não é capaz de optar por outros. Muitas vezes, para ir de um ponto a outro, deve retornar a um local de referência (ao hotel, por exemplo) para novamente sair em direção ao seu objetivo. Ele é, em suma, incapaz de formar uma imagem interior da cidade, de mapeá-lo em sua mente. Por outro lado, também não tem um conhecimento local e íntimo da cidade.

Suponhamos que, com ou sem auxílio de um guia, depois de muito andar pela cidade, percorrendo muitos caminhos várias vezes, ganhando familiaridade com seus pontos e suas ruas mais importantes, utilizando e estudando o mapa com afinco, esse turista acabe por adquirir uma visão especializada da cidade, o conhecimento de sua extensão. No entanto, esse conhecimento será frio, superficial e formal, do tipo "vista aérea" ou "cartão postal" se ele não tiver travado contato local mais íntimo da cidade, junto a pessoas que nela vivem. Se isto deixar de acontecer, o turista será capaz de se mover na cidade, escapar de congestionamentos, escolher linhas de ônibus ou metrô apropriados, mas não saberá, por exemplo, onde comprar mais barato, comer melhor, encontrar pessoas interessantes ou descrever como são e o que fazem os nativos da cidade.

Pode ocorrer também o inverso, ou seja, ao chegar à cidade o turista fixa-se numa determinada região e a vivência com alguma profundidade, frequentando os bares, conversando com as pessoas, observando e vivendo o seu cotidiano. Essa é uma situação bem típica de quando vamos a uma determinada cidade com uma finalidade prática, a trabalho, por exemplo, e somos recebidos por um colega, habitante da região. Neste caso, temos a oportu-

nidade de uma razoável vivência no local específico onde vamos trabalhar, conhecendo pessoas e recebendo do nosso anfitrião informações e dicas referentes a "como nos virar" na região ou no próprio trabalho, tais como onde almoçar bem ou barato nas redondezas, como adquirir determinadas coisas necessárias ao trabalho que estamos desenvolvendo, quem procurar para determinados fins, que condução utilizar para ir de "casa" ao trabalho, etc.. Junto ao nosso anfitrião, visitamos alguns pontos da cidade, conhecendo uma coisa aqui, outra ali.

Numa tal situação, mesmo que nossa estadia seja suficientemente longa para adquirir uma certa intimidade com aquela região particular onde nos estabelecemos, o resultado pode ser um conhecimento profundo, mas limitado porque predominantemente local. Conhecemos a cidade de modo desconjuntado, sem a unidade dada pela visão coerente da sua organização espacial, o que nos torna extremamente dependentes, com pouca liberdade de ação.

Essas duas situações que descrevemos - o conhecimento em extensão sem profundidade e o conhecimento local, profundo sem extensão, são apenas imagens estereotipadas, cuja principal função é tornar claras essas características do conhecimento. Em geral, tanto no caso da cidade "vista de dentro" como "vista de fora", do indivíduo que a conhece, como do turista, essas duas formas de conhecimento estão simultaneamente presentes, num ou noutro nível. A aquisição do conhecimento em extensão não ocorre sozinha sem componentes do conhecimento local e vice-versa. Uma auxilia e reforça a outra.

O relato que o turista faz de sua viagem ressalta quais os meios ou formas de transmissão mais característicos dessas duas facetas implícitas no conhecimento da cidade ou na apreensão que dela fez: o aspecto espacial é, em geral, retratado por imagens em fotografias, mapas ou desenhos e o aspecto local, pela narra-

ção verbal que os acompanha. O primeiro é apreendido e revelado de forma predominantemente visual e o segundo de forma predominantemente verbal, através de palavras carregadas de julgamentos de valor, de interpretação subjetiva e emoção. De qualquer modo, seu relato enquanto um todo é único e reflete uma particular apreensão que se pode ter de uma cidade tomada no seu conjunto.

Existe, ainda, um outro modo de se conhecer uma cidade. Uma "tour" ou excursão é um caso típico em que, em geral, adquirimos muito pouco conhecimento da cidade, quer local ou em extensão. Num tempo bastante limitado, junto com os demais companheiros de excursão, saímos em um ônibus com um guia que nos leva aos pontos principais da cidade, suas atrações turísticas. A menos que tenhamos iniciativa própria, o conhecimento de cada um desses pontos de referência é muito superficial e o da cidade, enquanto um todo, é extremamente fragmentado. Ao final da viagem, resta uma idéia indistinta e vaga da cidade, algo como o empilhamento dos cartões postais ou fotografias que trazemos, acrescida, é claro, da impressão individual e subjetiva de cada um.

Finalmente, é preciso ressaltar que a apreensão global e profunda da cidade pode ser extremamente enriquecida, quer pelo seu habitante, quer pelo visitante, quando a sua história é conhecida. Sua origem e as transformações que sofrem ao longo do tempo, os papéis sociais, políticos e econômicos que desempenhou e desempenha no país ou no mundo, os modos típicos do seu crescimento, são alguns dos aspectos que não apenas complementam o conhecimento unificado da cidade, mas também permitem a inserção e intervenção crítica e criativa do indivíduo no seu desenvolvimento. A cidade, vista desse modo, como um conjunto unificado de inter-relações, quer sincrônico, quer diacrônico, é viva e dinâmica, produto e processo, feita por indivíduos e por eles construída.

Essa discussão das características de uma cidade e das formas como podem se manifestar o seu conhecimento foi feita, como dissemos, com o intuito de traçar um paralelo com a Física, pois a unidade que esta apresenta também pode ser apreendida de modo que seu conhecimento seja mais inteiro e profundo, mais útil, significativo e crítico. Analogamente à cidade, uma teoria física, num determinado período histórico tem uma estrutura "espacial" que é dada pelos elementos que a compõem e suas inter-relações, as "coisas e caminhos". Essa idéia de estrutura será aprofundada posteriormente, de um modo genérico no Capítulo III e através de um exemplo particular no Capítulo IV. No momento, é suficiente entendê-la como o conjunto dado pelos conceitos significativos da teoria e as possíveis relações que guardam entre si.

Também como no caso da cidade, a apreensão dessa estrutura envolve tanto um conhecimento global, em extensão como um conhecimento local, em profundidade.

Conhecer uma teoria física em extensão, significa ter uma visão de conjunto de sua estrutura; ser capaz de reconhecer seus elementos mais importantes e de relacioná-los num todo; saber ligar suas partes, seus conceitos e leis, o que é análogo a ir de um ponto a outro da cidade. Esse ir de um ponto a outro, esse relacionar, envolve em grande parte uma destreza formal de conexão e operação de símbolos matemáticos.

Vejamos um exemplo. No caso da Eletrostática, temos como alguns de seus conceitos mais importantes, a carga e o campo elétricos. Esses conceitos podem ser "ligados" por mais de um caminho, que são dados empírica e logicamente por hipóteses, modelos ou leis e são representados por equações matemáticas. Podemos obter o campo elétrico de uma distribuição eletrostática de cargas tanto através da lei de Coulomb ( $\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \vec{r}$ ) quanto através da lei de Gauss ( $\phi_E = \oint \vec{E} d\vec{s} = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0}$ ). Nesse caso, essas duas

leis correspondem a caminhos ou relações formalmente diferentes entre esses dois conceitos. Assim, o conhecimento em extensão da Eletrostática permite uma mobilidade dentro de sua estrutura conceitual lógica, pois corresponde a uma capacidade de nos situarmos dentro do seu todo e de optarmos em cada situação pelos caminhos mais adequados. Essa mobilidade reflete-se pela capacidade de uma pessoa colocada diante de um problema, de identificar tanto os conceitos que deve utilizar dentre aqueles que compõem a estrutura da Eletrostática, quanto escolher as relações mais adequadas àquela situação física particular. Se essa pessoa, na tentativa de solucionar um problema, utiliza um caminho que não a leva a alguma solução satisfatória, ela tem condições de optar por outros caminhos, não dependendo de informações adicionais tais como "qual é a parte da matéria", "qual é a fórmula" ou "qual o capítulo do livro" que deve utilizar para resolvê-lo. Para esse tipo de conhecimento, a matemática é um instrumento extremamente útil e poderoso que favorece essa mobilidade.

Em geral, no caso de uma teoria física, o conhecimento em extensão manifesta-se numa forma predominantemente racional e consciente, ligado a uma capacidade de distanciamento do objeto. Requer raciocínio lógico, razão, consciência; trata-se de uma qualidade do saber associada à especialização da teoria. Por isso, ele é passível de ser representado graficamente através de diagramas lógicos ou mapas. Fazendo um paralelo com a cidade, essa é a dimensão do conhecimento que permite tanto "escapar de congestionamentos" como "guiar o turista", e cuja expressão maior é a elaboração de um mapa que o representa.

A outra dimensão do conhecimento de Física, o conhecimento local, é aquela relativa a cada elemento ou a cada parte da teoria. Enquanto o conhecimento em extensão é algo que associamos a um aspecto formal da estrutura de uma teoria, o conheci

mento local de um conceito ou de uma lei, por exemplo, tem uma profundidade oriunda de sua ligação com os "objetos" da natureza a que se referem, com "coisas", fatos ou fenômenos. Um conhecimento de tal tipo, nós não expressamos através de fórmulas matemáticas e nem podemos representar espacialmente através de diagramas lógicos ou mapas. Trata-se de uma forma de saber predominantemente intuitiva, que transcende o formalismo matemático e cuja expressão verbal é ambígua, vaga e pouco precisa.

Quando nos perguntamos, por exemplo, o que é carga elétrica, pensamos em como esta se manifesta, que efeitos produz e como percebemos tais efeitos. Criamos uma imagem mental muito particular que a representa, formada a partir de uma percepção sensorial e intuitiva de um objeto ou uma "coisa" a que associamos esse conceito. Contudo, temos dificuldade em verbalizar um tal conhecimento, de responder esse tipo de questão através de palavras.

Essa sensação de sabermos alguma coisa, mas de não podermos defini-la ou explicá-la, também ocorre com os axiomas e conceitos fundamentais de outros ramos do conhecimento e é razoavelmente comum. Por exemplo, no caso da geometria Euclidiana, sabemos o que é uma reta; entretanto, quem é capaz de responder à questão: o que é uma reta?

A dimensão da profundidade do saber manifesta-se fortemente quando um estudante iniciando os primeiros contatos com a Física, faz questões do tipo: o que é carga elétrica, o que é energia, o que é força, o que é momento. Ao longo do curso, ele vai sendo introduzido em um universo de conteúdos formais, de raciocínio lógico-matemático, em que esse tipo de questionamento vai deixando de existir. Quando ele ocorre, as respostas podem ser dadas através de fórmulas, símbolos matemáticos ou operações lógicas. Esse lado do saber vai se tornando fraco, posto que ina-

dequado e desnecessário para o seu "sucesso" nos cursos até que, em alguns casos, desaparece quase por completo. E então, já distante desse universo de intuições e sentimentos, responde com naturalidade e segurança que, por exemplo, "força é  $\frac{dp}{dt}$ ".

A separação entre conhecimento em extensão e conhecimento em profundidade, também na Física não deve ser entendida como algo rígido. Razão e intuição, pensamento e sentimento, global e local, coexistem na relação homem-mundo e nas suas formas de apreender a realidade, não podendo ser dicotomizados. Extensão e profundidade na apreensão da estrutura de uma teoria física não ocorrem separadamente. Tampouco seguem alguma sequência ou hierarquia: primeiro uma, depois a outra. O aprofundar uma parte auxilia a conexão entre as partes e não é exclusivamente intuitivo; e o estender auxilia e requer profundidade, não sendo também exclusivamente racional e formal.

Por um lado, o conhecimento formal da expressão matemática entre carga e campo elétrico dada pela lei de Coulomb ( $\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \vec{r}$ ) é útil para o aprofundamento dos conceitos de carga e campo. Por outro lado, a ligação que podemos fazer desses conceitos com coisas, fatos ou imagens da natureza torna mais rico e sólido o conhecimento formal da lei de Coulomb. A apreensão da teoria enquanto um todo envolve o "varrer" a sua estrutura nessas duas dimensões, aprofundando e estendendo; o conhecimento local interfere e favorecendo o global e vice-versa.

A combinação profundidade e extensão, aproximação e distanciamento, vai criando um todo num processo que não é estático. De um lado, o todo, assim criado, é novamente passível de ser aprofundado, pela aproximação às suas partes e de outro lado, o afastamento das partes leva a uma aproximação de um novo todo. Desse modo, a teoria vai se transformando em alguma "coisa" passível de ser conhecida e analisada. Assim reificada, a

teoria torna-se o objeto que pode ser visto de diferentes ângulos, que pode ser interpretado de diferentes maneiras. A leitura que fazemos de uma teoria não é neutra nem totalmente objetiva, mas depende de uma visão de mundo, de uma concepção da natureza. Cada leitura pode enfatizar ou priorizar determinados elementos ou relações de modo que as várias partes que a compõem não são valorizadas igualmente, não têm o mesmo significado para cada "leitor". A ênfase, a interpretação que cada um faz da teoria em seu conjunto é determinada por uma percepção subjetiva que depende da sua experiência e da sua história, ao mesmo tempo ela determina a sua imagem de natureza.

### II.3. IMPLICAÇÕES NO ENSINO

O reconhecimento dessas duas faces do saber, profundidade e extensão, tem implicações importantes no ensino. Mostra a necessidade, de um lado, de se enfatizar o caráter estrutural das teorias físicas possibilitando que estas sejam apreendidas em seu conjunto e, de outro lado, de se transcender o aspecto formal do conhecimento dessas teorias, atribuindo importância às interpretações físicas e criando espaço para as formas de conhecimento não verbais, do tipo intuição e sentimento.

Quanto ao conhecimento em extensão, sua expressão mais conveniente é a representação da estrutura da teoria através de um mapa. Não entraremos em detalhe, aqui, nas questões relativas às características de tal mapa ou à sua elaboração, pois o faremos posteriormente, nos Capítulos III e IV. Para o momento, é suficiente imaginarmos algo análogo ao mapa de uma cidade, constituído de "coisas e caminhos" ou, no caso da teoria física, basicamente de conceitos e suas inter-relações.

Existem muitas relações possíveis entre os elementos constituintes de uma teoria e, em geral, seu mapa é complexo e multidimensional. Um determinado curso que tenha como conteúdo uma teoria particular corresponde a uma linearização dessa estrutura, uma vez que suas partes devem ser apresentadas sequencialmente, uma depois da outra. Essa é uma característica inerente ao processo de transmissão de uma teoria, pois sua estrutura tem características espaciais, constituídas de relações sincrônicas, enquanto que sua apresentação em aulas ou textos é temporal, só pode ocorrer através de uma sequência.

Sendo assim, é necessário um processo de reconstrução para que um estudante adquira o conhecimento em extensão da teoria, para que seja capaz de espacializá-la em sua mente. Para tanto, ele precisa transcender o caminho linear das aulas e dos livros, percorrer os muitos caminhos entre as suas partes, ir e vir de um ponto a outro, de modo que a estrutura da teoria seja apreendida.

Por exemplo, o conteúdo de Eletrostática, como já dissemos, é tradicionalmente apresentado nos livros didáticos através da sequência:

carga elétrica - força/lei de Coulomb - campo - fluxo  
do campo/lei de Gauss - potencial - energia potencial.

Em geral, esses conceitos e leis são relacionados seriamente, de modo que se existe alguma continuidade em tal tratamento da teoria, essa seria representada por uma linha, por um único caminho. Conseqüentemente, muitas das relações conceituais são omitidas e a visão de conjunto dessa teoria fica prejudicada. Para que tal visão seja recuperada, é necessário que essas relações sejam explicitadas, que os "buracos" ou "rupturas" deixados pela sua linearização sejam preenchidos.

Suponhamos que um estudante, quer por um grande esforço próprio ou pela existência de uma preocupação explícita do curso em enfatizar o aspecto global de uma teoria, adquira um conhecimento espacializado da mesma, do mesmo modo que o turista que depois de muito andar pela cidade, percorrendo muitos caminhos, diversas vezes, apreende a organização espacial da cidade. Ainda assim, esse conhecimento pode ser apenas formal e pouco significativo se não estiver acompanhado do conhecimento local e profundo das partes constituintes desse todo.

Nos cursos de Física, em geral, a situação inversa a essa é mais comum. O conhecimento local é bastante enfatizado, em detrimento do global. Cada parte da teoria é trabalhada, às vezes exaustivamente, através de leituras de textos, resolução de listas de exercícios, atividades de laboratório. Muitos aspectos específicos são tratados, ora com mais profundidade ora com menos, mas quase sempre de modo isolado e estanque, como descrevemos no início desse capítulo. Desse modo, o estudante adquire, pela prática e treino constantes, um conhecimento às vezes profundo de alguns tópicos de Física, mas desconjuntados, sem unidade. Esse tipo de abordagem do conteúdo de Física é bastante análogo ao passeio guiado pela cidade, em alguns casos à "excursão" e em outros à "viagem a trabalho", conforme a profundidade com que se tratam os aspectos locais.

Na maioria dos casos, entretanto, não só a preocupação com o conhecimento global é praticamente ausente, como os vários conhecimentos locais são tratados muito superficialmente. Alguns pontos de referência considerados mais importantes, as "atrações turísticas", são vistos rapidamente através de um guia (o professor), sem profundidade. E o resultado é um conhecimento fragmentado e vazio, do tipo empilhamento de "cartões postais". Essa analogia à excursão pela cidade, constitui o exemplo mais típico do segundo grau.

Em outros cursos, mais frequentes na Universidade, alguns tópicos são tratados com maior profundidade. O estudante, tal como o sujeito que vai à cidade com uma finalidade prática, adquire, então, uma certa intimidade com determinadas partes da Física, mas em geral acaba por não ter uma visão do todo.

Tanto no segundo grau quanto na Universidade, a tendência predominante é enfatizar o local e o formal, sendo esse o conhecimento que é, quase sempre, avaliado nas provas o que se espera que um estudante saiba ao final do curso.

Enfatizar a estrutura das teorias no ensino de Física, tanto em extensão como em profundidade é, a nosso ver, uma forma de tornar o aprendizado mais amplo e integrado, de se possibilitar uma visão de conjunto das mesmas, em contraposição a uma visão focalista, fragmentada. Quando levamos em consideração esses aspectos no processo educacional, estamos contribuindo para uma apreensão unificada da Física, ou seja, de suas teorias enquanto totalidades que procuram explicitar ou interpretar um dado domínio de fatos ou fenômenos num determinado período. É preciso deixar bem claro, entretanto, que o caráter global e unificado do conhecimento de Física não se restringe apenas a esse aspecto predominantemente estrutural, sincrônico. A dimensão diacrônica do conhecimento físico, ou seja, sua evolução ao longo do tempo, sua história, também é muito importante para a sua unificação.

Conhecer o processo de desenvolvimento da Física, sua história, seus métodos e problemas, é parte de saber Física. Isso é particularmente relevante quando queremos preparar alunos que não aceitem o conhecimento enquanto uma "ordem superior", limitando-se a assimilá-lo ou digeri-lo passivamente, ou seja, quando estamos preocupados com a formação de cientistas que possam tanto

compreender como formular uma concepção da natureza e que assumam uma postura ativa em sua investigação, tornando-se capazes de intervir criativamente nesse processo. É importante esclarecermos a que tipo de abordagem histórica estamos nos referindo, pois existem histórias e histórias, que correspondem a diferentes visões e atitudes frente à ciência e ao seu desenvolvimento.

Sobre isso, o português Bento Jesus Caraça, professor de Matemática, no prefácio de seu livro "Conceitos Fundamentais da Matemática" distingue duas atitudes em face do ensino de uma ciência:

*"A ciência pode ser encarada sob dois aspectos diferentes. Ou se olha para ela tal como vem exposta nos livros de ensino, como coisa criada, e o aspecto é o de um todo harmonioso, onde os capítulos se encadeiam em ordem, sem contradições. Ou se procura acompanhá-la no seu desenvolvimento progressivo, assistir à maneira como foi sendo elaborada, e o aspecto é totalmente diferente - descobrem-se hesitações, dúvidas, contradições, que são um longo trabalho de reflexão e apuramento consegue eliminar, para que logo surjam outras hesitações, outras dúvidas, outras contradições.*

*Descobre-se ainda qualquer coisa mais importante e mais interessante: - no primeiro aspecto, a ciência parece bastar-se a si própria, a formação dos conceitos e das teorias parece obedecer só a necessidades interiores; no segundo, pelo contrário, vê-se toda a influência que o ambiente da vida social exerce sobre a criação da ciência. A ciência, encarada assim, aparece-nos como um organismo vivo, impregnado de condição humana, com as suas forças e as suas fraquezas e subordinado às grandes necessidades do homem na sua luta pelo entendimento e pela libertação; aparece-nos, enfim, como um grande capítulo da vida humana social."* (11)

A primeira dessas atitudes parece ser a mais comum no

ensino de Física. Os cursos e livros didáticos frequentemente passam uma visão da ciência e da Física, particularmente, senão como algo estático, pelo menos como um processo automático que se desenvolve linear e cumulativamente, passo a passo, sem grandes contradições. Em geral, as suas teorias, modelos ou leis são apresentados como se constituíssem verdades absolutas, naturais e objetivas, que devem ser apreendidas como regras estabelecidas, para serem usados ou aplicados sem quaisquer indagação ou questionamento. As referências históricas, quando existem, não vão além de "pinçeladas" de uma história que se limita a citar os grandes nomes da ciência ou a apresentar datas e observações folclóricas relacionadas às suas "descobertas e descobridores" tais como o exemplo abaixo ilustra:



Desenho de Newton e a maçã,  
por N. Mistry.

"Num dia de verão de 1665, quando estava em espírito contemplativo, Newton observou uma maçã caindo ao chão. Ele perguntou-se o que, exatamente, havia provocado a queda da maçã. Se existe uma força de atração entre a Terra e a maçã, deve também existir uma atração entre duas massas  $m_1$  e  $m_2$ . Como a força é proporcional à massa da maçã, ela deve também ser proporcional a cada uma das massas  $m_1$  e  $m_2$ , se paradamente; isto é,  $F \propto m_1 m_2$ . (O símbolo  $\propto$  significa "proporcional a".)

Newton também se perguntou se a força sobre a maçã decresceria no caso da mesma ser deslocada para longe da superfície da Terra. Ele imaginou que se

*ela fosse deslocada até a posição da Lua, teria a mesma aceleração que esta última. A natureza da força gravitacional entre a Terra e a Lua deveria ser a mesma que entre a Terra e a maçã."*(12)

Esse tipo de abordagem do desenvolvimento científico, que reduz a história à mera apresentação cronológica de fatos ou a um anedotário superficial a cerca de seus personagens célebres, ou ainda, que o apresenta como um processo cumulativo harmonioso sem saltos e contradições tem implicações que consideramos negativas no ensino de Física.

Por um lado, mistifica a ciência e o cientista, tornando-os entidades sobre-humanas, distantes e inacessíveis, fazendo com que os estudantes se sintam inferiores e alheios diante do desenvolvimento da ciência, cabendo-lhes apenas o papel de espectadores passivos. Por outro lado, transmitem uma visão dessa ciência como um empreendimento neutro e objetivo em busca da verdade, onde o papel do cientista, tal qual o de um detetive, é o de desvendar essa verdade. Como afirma T. Kuhn, "causam a impressão de que a ciência alcançou seu estado atual através de uma série de descobertas e invenções individuais que, reunidas, constituem a coleção moderna dos conhecimentos técnicos."(13)

Ainda nessa direção, o Prof. M. Cini, referindo-se a uma argumentação normalmente utilizada, de que apresentar as idéias e teorias científicas tal como são hoje sistematizadas, numa abordagem a-histórica, aumenta a eficiência do aprendizado do ponto de vista da capacidade de utilização, afirma que:

*"Este modo de ensinar física não reproduz absolutamente o que foi o real processo de desenvolvimento das idéias, das propostas, das inovações que conduziram à construção de novas teorias, ao confronto entre teorias diferentes, à aceitação de algumas e ao abandono de outras, enfim, ao próprio desenvolvi-*

to da Física. Portanto, existe uma grande diferença entre, por um lado, como de fato as novas idéias se desenvolveram e, por outro lado, o modo de ensiná-las, de apresentá-las, de construí-las em disciplinas reconhecidas e sistematizadas..."<sup>(14)</sup>

Quando, então, apontamos a necessidade de se inserir a história da ciência no ensino de Física, nos referimos a uma história que, entre outros aspectos, situe o desenvolvimento científico no contexto de transformações sociais e forneça elementos para uma análise de como e porque, em determinado período, algumas teorias prevalecem em detrimento de outras, como as visões de mundo subjacentes a elas mudam. Uma história que evidencie o caráter construído da ciência, desmistificando-a enquanto algo neutro, desvinculado da história humana e totalmente objetiva porque baseada na objetividade de observações. Como afirma o Prof. Marcelo Cini:

"Se o objetivo [do ensino] é conseguir que o aluno aprenda certas regras para fazer determinados cálculos no tempo mais breve possível ou se o objetivo é rapidamente inseri-lo num processo muito setorizado de produção científica e ensino, então, pode ser melhor mesmo apresentar tudo já organizado e reconstruído. Neste caso, vejo mais uma grande semelhança com o processo de uma cadeia de montagem de bens de consumo, do que um processo de aprendizado crítico de certos instrumentos culturais, instrumentos que permitam uma real compreensão do mundo, não somente em seu microscópico setor especializadíssimo mas que permitam também relacionar esses aspectos técnicos especializados a um quadro mais geral do papel da ciência."<sup>(15)</sup>

A importância da história da Física e a necessidade de se integrá-la organicamente no seu ensino, apesar de ausente na maioria dos livros didáticos utilizados nos cursos, é atualmente reconhecida por um maior número de físicos e professores; sendo tema de trabalhos e debates nessa área.

Em resumo, acreditamos que na Física, o reconhecimento da importância do tratamento de suas teorias enquanto totalidades portadoras de uma lógica interna, de uma estrutura formal que pode ser traduzida através de imagens da natureza e de uma história ligada às suas formas de desenvolvimento e transformações, leva a opções de um ensino que favorece o conhecimento global da Física em contraposição ao conhecimento fragmentado; e que coloca os estudantes em contato com os elementos vivos e contraditórios do desenvolvimento da Física em oposição a uma visão estática ou linear, desumanizada dessa ciência.

Do ponto de vista do conhecimento teórico da Física, esses dois aspectos, relativos à sua estrutura e à sua história são essenciais e complementares. Por um lado, não podemos compreender sua evolução histórica, seus paradigmas em cada momento e as mudanças que sofrem, sem o entendimento da estrutura conceitual desses paradigmas ou teorias. Por outro lado, também o inverso é verdadeiro, ou seja, o conhecimento dos conceitos e suas relações é favorecido pelo conhecimento histórico. Como bem afirma Toulmin,

*"... podemos compreender claramente a autoridade intelectual de nossos conceitos, somente se tivermos em mente os processos sócio-históricos pelos quais eles se desenvolvem dentro da vida de uma cultura ou comunidade; porém, por sua vez, uma análise mais clara dessa autoridade intelectual nos dá meios para desenvolver idéias mais exatas sobre esses mesmos processos".* (16)

No presente trabalho, focalizamos nossa atenção apenas no aspecto estrutural e, mais especificamente, no conhecimento em extensão de uma teoria física. Evidentemente, não pretendemos com tal ênfase fazer uma "prescrição" para o ensino de Física que considere esse enfoque como hierarquicamente superior ou único.

### III. ESTRUTURAS, TEORIAS E ENSINO

#### III.1. UNIDADE DA ESTRUTURA: O TODO E O JOGO DAS PARTES

No capítulo II discutimos alguns aspectos da natureza do conhecimento de Física, ressaltando dimensões segundo as quais uma teoria pode ser apreendida de um modo global e significativo.

Através das combinações extensão e profundidade, distanciamento e aproximação, a teoria passa a ser para nós alguma coisa unificada e com significado e, ao mesmo tempo, portadora de uma estrutura interna que podemos conhecer parte por parte, localmente e em suas múltiplas inter-relações.

Um ponto essencial, implícito nessa análise, e sobre o qual passamos a focalizar nossa atenção nesse capítulo, é que uma teoria física tem uma estrutura, dada pela combinação de suas partes em um todo. Os elementos que ela abarca - conceitos, leis, modelos, hipóteses - estão de certa forma organizados e hierarquizados, compondo um sistema de relações, que denominaremos estrutura conceitual da teoria.

Num sentido genérico, uma estrutura é uma "disposição, arranjo ou ordem das partes em um todo"<sup>(17)</sup> e tem, como característica essencial, a sustentação de uma totalidade. Toda estrutura reflete uma unidade, que a caracteriza enquanto tal. Uma série de elementos pode ser arranjada de diferentes modos, através

de diferentes inter-relações, para constituir um todo; e cada arranjo se faz segundo uma regra, princípio ou lei geral que define esse todo e, ao mesmo tempo, dá significado aos seus elementos.

Um jogo de xadrez, por exemplo, tem uma estrutura. Aquilo que o caracteriza não são peças isoladas, mas o sentido e a função que tais peças têm no conjunto, dados pelas suas regras e objetivos. Fora dessa estrutura, desse jogo particular, essas peças não têm significado ou, então, ganham outros significados. Nas mãos de um leigo (em xadrez) tais peças podem constituir um outro jogo, uma outra estrutura, cujas regras lhes atribuem outras funções.

Também uma composição musical pode ser um exemplo de uma estrutura, pois tem uma unidade dada pelo particular arranjo das notas que a compõem. As mesmas notas, num outro arranjo, compõem outra melodia. O que define ou qualifica o jogo de xadrez ou a composição musical não é a mera soma ou justaposição das peças ou das notas. Uma "porção" de peças de xadrez não compõe o jogo, assim como uma "porção" de notas não compõe aquela melodia.

Com esses exemplos queremos ressaltar, fundamentalmente, que os elementos constituintes de uma estrutura estão organicamente ligados ao todo e nele ganham significados, valores e funções determinados. Essa idéia é discutida por Piaget, que afirma ser a totalidade a característica mais evidente de uma estrutura. Mesmo sem aprofundar o caráter da estrutura e o seu papel na aquisição de conhecimento, no contexto geral de sua obra, interessa-nos aqui uma das formas como ele a aborda. Segundo Piaget, "uma estrutura é, por certo, formada de elementos, mas estes estão subordinados às leis que caracterizam o sistema como tal: e essas leis, ditas de composição, não se reduzem a associações cumulativas mas conferem ao todo propriedades de conjunto

*distintas daquelas que pertencem aos elementos*"<sup>(18)</sup>. Um exemplo de estrutura fornecido por Piaget é o conjunto dos números inteiros: não existem isoladamente e nem foram descobertos em qualquer ordem para depois serem reunidos em um todo; não se manifestam se não em função da própria sequência dos números e esta apresenta propriedades estruturais distintas das propriedades de cada número (par ou ímpar, positivo ou negativo, etc.).

A psicologia da forma - Gestalt - também explora, num outro contexto, a idéia de estrutura de modo bastante extenso e profundo. No dicionário "Aurélio" encontramos, para o termo Gestalt, a seguinte definição: "*doutrina relativa a fenômenos psicológicos e biológicos, que veio alcançar domínio filosófico, e consiste em considerar esses fenômenos não mais como uma soma de elementos por isolar, analisar e dissecar, mas como conjuntos que constituem unidades autônomas, manifestando uma solidariedade interna e possuindo leis próprias, donde resulta que o modo de ser de cada elemento depende da estrutura do conjunto e das leis que o regem, não podendo nenhum dos elementos preexistir ao conjunto*"<sup>(19)</sup>. É importante ressaltar que não estamos pretendendo discutir aqui a psicologia da Gestalt e, uma tal definição, extraída de um dicionário, tem apenas a função de explicar o uso que fazemos da palavra.

As conhecidas experiências da Gestalt sobre a percepção da forma visual mostram que vemos as coisas de maneira total, que a visão das partes depende, em maior ou menor extensão, da estrutura do todo. Percebemos um determinado objeto pela captação dos seus aspectos estruturais mais evidentes. Em uma obra-de-arte, por exemplo, nenhuma porção ou detalhe é absolutamente auto-suficiente, do mesmo modo que as peças do jogo de xadrez ou as notas da melodia, tomadas isoladamente. Por exemplo, Rudolf Arnheim afirma que: "*No ensaio que deu à teoria da Gestalt seu nome,*

*Christian von Ehrenfels demonstrou que se doze observadores escutassem cada um dos doze tons de uma melodia, a soma de suas experiências não corresponderia à experiência de alguém que a ouvisse inteira"<sup>(20)</sup>.*

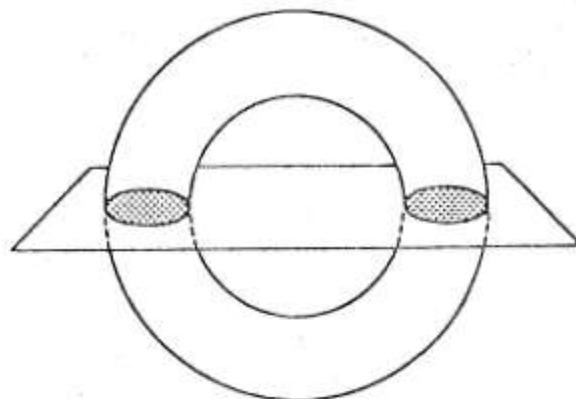
Na Física, também, a existência de um todo que determina as partes é crucial. Uma teoria física tem uma unidade que não pode ser reduzida à mera soma ou justaposição de seus componentes. Essa unidade representa todo um modo de organizar determinados fenômenos, observações, experiências, de conceber a natureza ou aspectos dela. Uma teoria é elaborada na busca de uma explicação para um certo conjunto de fatos ou fenômenos que são observados direta ou indiretamente. Por isso, através dela, coisas aparentemente separadas são vistas como manifestações de uma mesma unidade básica. A teoria unifica determinadas características ou aspectos da natureza por meio de conceitos, leis, modelos, que são correlacionados com símbolos matemáticos e articulados num esquema lógico de forma precisa e consistente. A base para essa estruturação é, então, uma visão unificada e unificadora.

Ao mesmo tempo em que a teoria dá significado às suas partes, ela define o seu próprio significado; em outras palavras, ela tem uma estrutura auto-contida. Assim, objetos, fenômenos ou conceitos que eram vistos separadamente, passam a ser ligados entre si e a um todo que os liga quando vistos à luz de uma determinada teoria. Na Física, esse jogo entre o todo e as partes, bem como o processo de unificação que ele comporta, também podem ser evidenciados quando vistos numa dimensão histórica, como é o caso, por exemplo, dos fenômenos elétricos e luminosos. Num determinado período do desenvolvimento da Física, eles eram vistos sem ligações entre si, mas, com a teoria de Maxwell das ondas eletromagnéticas, passaram a ser interligados e concebidos como manifestações de um único fenômeno. Os conceitos de espaço e tempo

constituem outro exemplo importante: eram entendidos como entidades separadas na Mecânica Clássica e foram unificados pela teoria da Relatividade. Segundo o modelo clássico, o espaço é o palco no qual os fenômenos físicos ocorrem, absoluto e imutável; o tempo, uma dimensão separada que descreve as transformações verificadas no mundo físico, também absoluto, sem qualquer vínculo com o mundo material e fluindo uniformemente. Assim, nesse contexto, espaço e tempo constituem dois conceitos inteiramente diversos, separados. Na teoria da Relatividade, espaço e tempo são indissociáveis, inseparavelmente conectados, formando um contínuo quadridimensional denominado "espaço-tempo". Não é possível, segundo essa concepção, falar-se acerca do espaço sem estar-se falando do tempo e vice-versa.

Uma analogia interessante com esse tipo de unificação é feita por Capra em "O Tao da Física". Segundo Capra, essa unificação ocorre à semelhança daquela presente na transição de uma dimensão para outra mais elevada:

*"A figura abaixo representa outro exemplo envolvendo uma transição de duas para três dimensões.*



Apresenta um anel "de rosquinha" cortado horizontalmente por um plano. Nas duas dimensões do plano, as superfícies do corte aparecem como dois discos completamente separados; em três dimensões, contudo, são reconhecidas como partes de um único objeto"<sup>(21)</sup>.

Neste caso, dois objetos que, segundo uma visão (bidimensional) eram isolados, passam a ser relacionados entre si e a um todo, segundo outra visão (tridimensional).

Também na Física, a adoção de um determinado ponto de vista, de um "critério de relação" provoca uma unificação de fenômenos ou conceitos. Uma teoria, baseada numa visão de mundo, num modelo de Universo, contém um "critério de relação" e, por isso, unifica esses fenômenos ou conceitos. Quando ocorre, uma mudança na visão de mundo é acompanhada de uma mudança de "critérios". As transformações envolvidas na transição da Mecânica Clássica para a Teoria da Relatividade ou do modelo geocêntrico do universo para o heliocêntrico constituem exemplos bastante claros e significativos de mudanças radicais no modo de se conceber o universo físico. Esse tipo de transição de uma teoria para outra, ou, mais amplamente, de um paradigma a outro<sup>(22)</sup>, é um processo em que se manipula um mesmo conjunto de fenômenos e dados que anteriormente, mas estabelecendo-se entre eles um outro sistema de relações, uma outra estrutura, a partir de um outro quadro de referência. Nesses casos, a transição envolve uma reestruturação da ciência e, em particular, das teorias aceitas pela comunidade científica. Como afirma Kuhn, ao se referir à transição da mecânica 'newtoniana' para a 'einsteiniana', ela envolve "um deslocamento da rede conceitual através da qual os cientistas vêem o mundo"<sup>(23)</sup>.

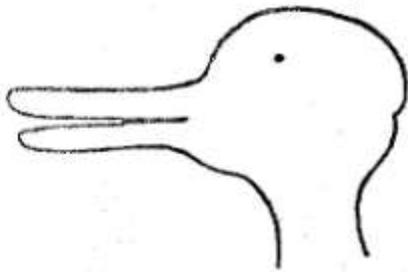
Essas transformações, especialmente tratadas por Kuhn e por ele denominadas de 'revoluções científicas', levam os cientistas a alterarem substancialmente sua visão de mundo. Nas suas palavras:

"... durante as revoluções, os cientistas vêem coisas novas e diferentes quando, empregando instrumentos familiares, olham para os mesmos pontos já examinados anteriormente. É como se a comunidade profissional tivesse sido subitamente transportada para um novo planeta, onde objetos familiares são vistos sob uma luz diferente e a eles se apregam objetos desconhecidos". (24)

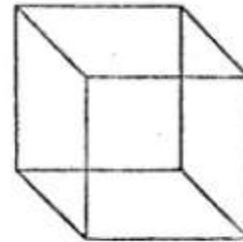
Nas fases revolucionárias, são essas reestruturações que estão na base da dificuldade de comunicação entre os cientistas. A comunidade científica divide-se entre o velho e o novo paradigma, sendo muito difícil estabelecer um critério unívoco para se decidir entre um e outro. Eles são incomensuráveis, porque sustentados por visões de mundo diferentes, de modo que essa escolha não é de todo racional. Nas palavras de Kuhn:

"... quando duas escolas científicas discordam sobre o que é um problema e o que é uma solução, elas inevitavelmente travarão um diálogo de surdos ao debaterem os méritos relativos dos respectivos paradigmas. Nos argumentos parcialmente circulares que habitualmente resultam desses debates, cada paradigma revelar-se-á capaz de satisfazer mais ou menos os critérios que dita para si mesmo e incapaz de satisfazer alguns daqueles ditados por seu oponente". (25)

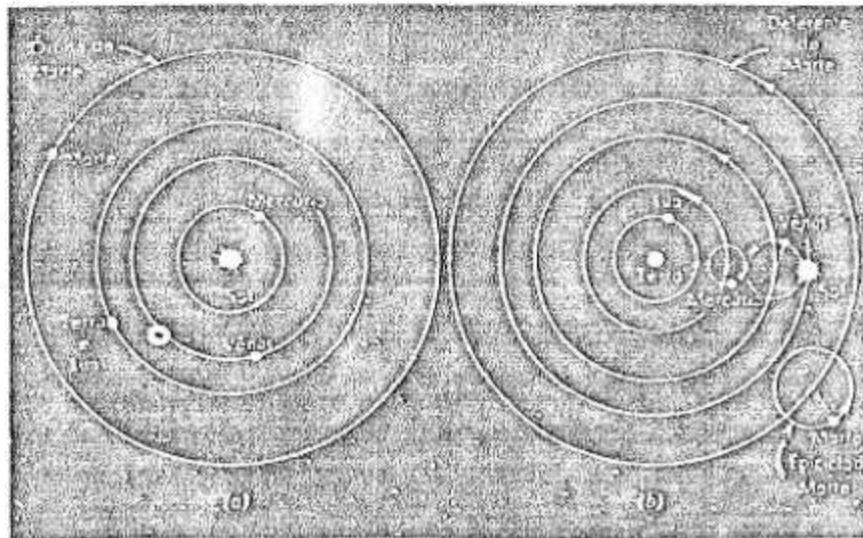
Com algumas restrições importantes, Kuhn também utiliza o modelo da Gestalt para discutir as transições de paradigmas: "... sobretudo por ser familiar [a Gestalt], é um protótipo elementar útil para o exame do que ocorre durante uma mudança total de paradigma" (26): "... Aquilo que antes da revolução aparece como um pato no mundo do cientista transforma-se posteriormente num coelho. Aquele que antes via o exterior da caixa desde cima passa a ver o seu interior desde baixo" (27).



Pato ou coelho?



Cubo visto de cima ou de baixo?



O Sistema Solar

- (a) visto com "óculos" copernicanos;
- (b) visto com "óculos" ptolomaicos.

Como enfatiza em "A Revolução Copernicana"<sup>(28)</sup>, na transição do geocentrismo (sistema ptolomaico) para o heliocentrismo (sistema copernicano), o céu é o mesmo, os astros são os mesmos; mudou, contudo, o modo de vê-los, a "trama" onde eles acontecem. Observado com óculos ptolomaicos, o Sol gira ao redor da Terra, mas com os de Copérnico, a Terra gira em torno do Sol. Junto a isso, mudaram tanto os significados de elementos consti-

tuintes do Universo, tais como planetas, satélites ou estrelas, como também os métodos, instrumentos de medida, problemas a serem resolvidos, etc.. Após uma revolução, os cientistas trabalham em um mundo diferente; e uma parte importante da revolução consiste numa nova articulação, numa nova estruturação dos mesmos fenômenos que já existiam antes.

A discussão apresentada até aqui visou mostrar que na Física, analogamente à percepção da forma visual, o todo é mais que a soma das partes e a elas fornece significados. Ou, em outras palavras, que a justaposição das partes não determina o todo. Uma teoria física não é feita apenas dos fenômenos e dados experimentais que ela engloba. E é importante ressaltarmos esse aspecto do problema, pois, apesar de muito criticada, a visão de que teorias são construídas pelo acúmulo de dados ainda é comum e difundida. Esse é o caso, por exemplo, da corrente indutivista<sup>(29)</sup>, segundo a qual a observação de um grande número de fatos permite a percepção de regularidades que são expressas por meio de leis. Tais leis constituem as bases fundamentais das teorias que, por sua vez, podem ser testadas por novos fatos experimentais. Desse modo, uma vez que são determinadas pela observação cuidadosa dos fatos, na experimentação, as teorias científicas são vistas como objetivas e impessoais, reconduzíveis a uma racionalidade pura e retratando a natureza como ela "realmente é". Nessa visão, os fatos são a voz da natureza e não cabe ao cientista dizer nada, bastando apenas ouvi-los e ordená-los.

Não negamos de modo algum o valor do conhecimento que é extraído da prática, da experiência. De fato, o experimento tem papel fundamental e imprescindível na atividade científica e pode ser entendido, em parte, como a assimilação prática da realidade pelo homem. Ele também pode ser usado como "teste" de um

determinado modelo ou teoria, orientando sua elaboração. No entanto, isso não significa, em primeiro lugar, que a observação seja destituída de critérios subjetivos individuais ou coletivos e, em segundo lugar, que os experimentos sejam o critério decisivo na elaboração ou na aceitação de teorias científicas. Em outras palavras, apesar de muito importantes, os dados ou resultados experimentais não são a origem e conteúdo únicos das teorias. Quanto ao primeiro aspecto, relativo à não neutralidade da observação, diríamos que o experimento pressupõe e inclui a mesma abstração que o pensamento teórico e que também contém elementos subjetivos. Mesmo a observação "direta" da realidade depende de uma série de fatores "pessoais", como a cultura onde se dá a formação dos indivíduos.

O "ver/observar", assim como os outros sentidos, não é determinado exclusivamente por padrões biológicos. Alguns estudos antropológicos indicam a forte influência do meio na captação da realidade pelo homem e, conseqüentemente, na sua explicação aos fatos e na sua visão de mundo. Particularmente a percepção obtida pela visão não é algo necessariamente natural, mas pode ser fruto de condicionamento cultural, determinada por padrões de comportamento. Podemos aprender a ver<sup>(30)</sup>. Um exemplo interessante disso é descrito por McLuhan<sup>(31)</sup>, ao narrar o caso de um pesquisador do Instituto Africano da Universidade de Londres quando utilizou filmes para dar educação sanitária a africanos educados em culturas tradicionais. Nesse relato, ele mostra que uma fotografia é uma convenção, cuja captação pelos olhos precisa ser aprendida, não é natural. Por trás de muitas sensações que julgamos naturais, existem convenções. A justificativa, aparentemente lógica, de que a nossa observação das coisas é necessariamente objetiva e absoluta, neutra e indiferenciável, é bastante questionável.

A objeção à concepção, segundo a qual teorias são feitas

por meio de coleções de dados, vai nessa mesma direção. Tal como as peças do jogo de xadrez, dados experimentais só fazem sentido dentro de um referencial teórico e pouco significam se apenas os constatamos. Tanto a procura de dados como a sua organização envolvem idéias pré-concebidas. Antes de procurar respostas, formulamos perguntas e essas não são feitas ao acaso, mas guiadas por modelos e crenças, por um quadro de referência que possuímos de antemão. E é à luz desse referencial que observamos os fatos, que organizamos os dados, que fornecemos respostas.

Nessa linha de pensamento, M. Bunge afirma:

*"... dados não têm sentido nem podem ser relevantes a não ser em um contexto teórico e... a acumulação ao azar de dados e inclusive as generalizações que não são mais que condensações de dados, são em grande parte pura perda de tempo se não vão acompanhadas por uma elaboração teórica capaz de manipular esses resultados brutos e de orientar a investigação. Não se pode saber se um dado é relevante se não se é capaz de interpretá-lo; e a interpretação de dados requer o uso de teorias. Além disso, somente as teorias podem sugerir a busca de informação não fornecida espontaneamente pelos sentidos: imagine como haveria sido possível sem uma teoria genética, a busca do código genético".* (32)

Como afirma Rubem Alves, numa forte analogia com essa idéia:

*"Redes não se constroem com peixes  
Redes são feitas para apanhar peixes"* (33)

Teorias não se constroem com dados, mas são usadas para pescar dados.

Poderíamos seguir adiante nessa discussão, aprofundando o problema acerca da construção de teorias, da relação teoria-experimento ou teoria-realidade. Apesar de tentadora, importante e de ter fortes implicações no ensino de Física, essa é uma ta

refa que envolve um debate polêmico e extenso que ocupa um grande espaço na filosofia da ciência e que, por si só, constituiria um outro trabalho de pesquisa.

Em síntese, a discussão apresentada nessa seção procurou mostrar que uma teoria física tem uma estrutura lógica complexa, cujas propriedades importantes são as seguintes: o todo é mais do que a soma das partes; o todo dá significado às partes; ela é auto-contida. As partes que compõem essa estrutura são basicamente conceitos e leis que, interligados, organizados e hierarquizados de uma determinada forma, compõem o todo. Esse, por sua vez, é sustentado e sustenta concepções da natureza, modos de ver o universo físico. Vista desse modo, a teoria não é algo natural, espelho da realidade, mas uma representação da realidade, construída, elaborada e re-elaborada pelo homem ao longo da sua história.

### III.2. TRANSMISSÃO DA ESTRUTURA

O caráter estrutural das teorias físicas nos remete novamente a problemas do ensino, quando refletimos sobre o processo de transmissão dessas teorias a estudantes. Como já discutimos no capítulo II, os cursos de Física apoiam-se fortemente em teorias que, em geral, constituem disciplinas ou partes delas. Os estudantes têm acesso a elas basicamente através de aulas e livros didáticos. Ocorre que, tanto em aulas como em livros, as teorias são subdivididas em partes. Apresentadas sequencialmente, umas depois das outras. Não poderia ser de outra forma, uma vez que esses são processos que se desenvolvem no tempo e que fazem a ligação entre estudantes e conteúdo. A sequencia-

ção é uma característica inerente a todos os processos diacrônicos, pois é uma exigência do tempo (cronológico) que uma coisa suceda outra. E tanto assistir aulas, como ler livros, participar de seminários, independentemente de metodologias, enfoques ou conteúdos, são atividades que se desenvolvem no tempo. É interessante notar que o próprio nome 'curso', dado a esse conjunto de atividades didáticas organizadas, tem o significado de sequência ou sucessão, de algo que se move em uma direção, como um fluxo ou uma corrente (\*).

Visto sob esse aspecto, um livro (ou uma série de aulas) não pode ser comparado a um quadro (uma pintura, uma fotografia, etc.), em que o todo se apresenta de uma só vez, com todas as suas partes interligadas. Assemelha-se mais a um filme, que é exibido quadro por quadro, numa sucessão de imagens, com começo, meio e fim. Tanto um quadro como um filme têm uma estrutura, uma unidade, um tema central como uma chave que liga tudo. A diferença entre eles está na forma com que essa estrutura se apresenta, diacrônica no primeiro caso, e sincrônica no segundo.

A apresentação sequenciada de uma teoria faz com que esta seja linearizada, disposta em uma única dimensão. Essa é a causa de uma forte contradição característica da transmissão de uma estrutura e constitui um problema complexo presente no ensino de Física. A teoria tem uma estrutura espacial, no entanto, sua apresentação em aulas ou livros é temporal, linear. Desse modo, ainda que esteja presente na mente do professor ou do autor do livro, a estrutura da teoria se desfaz necessariamente no momento de sua transmissão. Sua unidade característica é, então, quebrada. Aquilo que é uno, se torna parcelizado, dividido.

---

(\*) As palavras "fluxo" e "corrente" são usadas aqui não com os significados atribuídos a elas em Física, mas no sentido da linguagem coloquial.

O problema da transmissão da teoria é semelhante àquele de comunicar coisas visuais através da linguagem verbal. Imaginemos, por exemplo, o que ocorre quando tentamos descrever um quadro a alguém, por meio de palavras. Começamos de algum ponto e, através de um determinado caminho, falamos de um detalhe, depois outro, depois outro, incluindo formas, cores ou dimensões, até que consideramos ter descrito todos os elementos mais importantes, quando nossa descrição verbal parece esgotar-se. Contudo, por mais que tenhamos sido minuciosos nos detalhes, e por mais detalhes que tenhamos tomado, dificilmente a nossa descrição pode ser completa, no sentido de reconstruir o todo plenamente. Essa situação é semelhante àquela descrita por Rudolf Arnheim

*"Quando olhamos um quadro de Rembrandt, aproximamo-nos de um mundo que nunca foi mostrado por qualquer outra pessoa; e penetrar nesse mundo significa receber um clima especial e o caráter de suas luzes e sombras, os rostos e gestos de seus seres humanos e a atitude face à vida por ele comunicada - recebê-lo através da imediação de nossos sentidos e sensações". (34)*

Queremos ressaltar, não a impossibilidade de transmitir tanto quadros como teorias através de palavras, mas a dificuldade inerente a essa transmissão, de comunicar o todo, a unidade. No caso da teoria, a dificuldade de comunicar, por meio do verbo, a sua estrutura espacial e unificada. Esse problema ainda é agravado pelo fato de que, além de ser algo inerente à apresentação de uma teoria, a linearização não é única. Em cada livro ou curso faz-se uma edição lógica do conhecimento, e uma característica importante dessa edição é que determinadas partes de uma teoria são mais enfatizadas, outras menos. Cada professor ou autor de livro apresenta segundo uma determinada visão, sob um ângulo privilegiado, uma faceta da teoria<sup>(35)</sup>. Do mesmo modo, ao descrevermos um quadro, necessariamente privilegiamos alguns as-

pectos, valorizamos diferenciadamente seus detalhes, optamos por um caminho.

Podemos ensinar a Mecânica Clássica, dando ênfase aos conceitos de força, de momento, de energia, à idéia de conservação, ou a qualquer outra faceta das leis newtonianas. Cada enfoque determina um caminho, uma sequência e uma hierarquia conceitual diferentes. Ainda que o objeto de estudo, os fenômenos envolvidos, sejam os mesmos, nós podemos apresentá-los de uma forma ou outra. Em outras palavras, a estrutura da teoria só se manifesta segundo suas diferentes interpretações que, em geral, correspondem a visões de mundo diferentes. Indicações do enfoque privilegiado podem ser encontradas nos índices dos livros ou programas dos cursos.

Portanto, do ponto de vista do professor ou do autor do livro, o problema está em transformar o conhecimento global em uma sequência de conhecimentos locais, em transformar o que é espacial num encadeamento lógico linear.

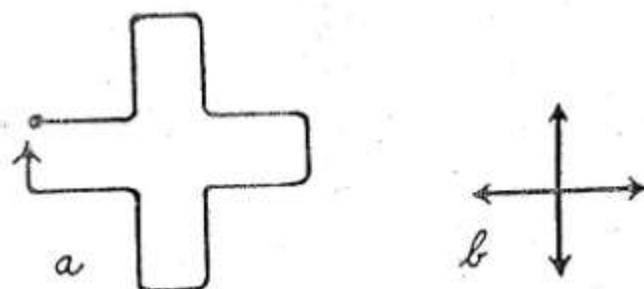
Do ponto de vista do estudante, temos o problema inverso, ou seja, cabe a ele transformar o local em global e recuperar, no caminho linear, a estrutura multidimensional. No decorrer de um curso ou da leitura de um livro, o estudante se sente "andando em uma linha", passando por conceitos, leis, imagens e fórmulas, numa lógica unidimensional.

A analogia com um turista na cidade é, aqui, novamente esclarecedora: depois de andar algum tempo pelas ruas da cidade, percorrendo um determinado caminho, sem o auxílio de um mapa ou de um guia que o esclareça, dificilmente um turista será capaz de visualizar a trajetória percorrida, de espacializá-la em sua mente.

Ao tratar do problema da configuração visual de um objeto, R. Arnheim fornece-nos um exemplo que também é bem ilus-

trativo:

"Quando se pede a um homem na rua que tome o itinerário indicado na figura (a): 'Caminhe dois quarteirões, vire à esquerda, caminhe mais dois quarteirões, vire à direita, caminhe um quarteirão...' ele acabará chegando ao ponto de partida. Isso provavelmente o surpreenderá. Embora se tenha movimentado ao longo de todo o contorno, não é provável que a experiência tenha abarcado os elementos essenciais da imagem que repentinamente formará em sua mente, quando perceber a forma de cruz que efetuou em seu caminho [figura (b)]". (36)



Ainda nessa mesma direção, Robilotta faz uma outra analogia interessante, narrando a seguinte situação:

"Suponhamos que um nativo de uma cidade queira mostrar a catedral local e um amigo estrangeiro, que vem visitá-lo. O nativo conhece bem a catedral, já a percorreu diversas vezes, de dia e de noite, por dentro e por fora. Na noite em que o nativo pretendia mostrá-la ao seu amigo, há um corte de energia elétrica e a cidade fica totalmente escura. O nativo, destemidamente, toma da sua lanterna a pilhas e, junto com o estrangeiro, dirige-se à catedral. Lá chegando, ele começa a varrer o interior da construção com o fecho de luz, mostrando colunas, entalhes, imagens em pedra e madeira policromada, arcos góticos... Na saída o nativo pergunta: - gostou da catedral? E o estrangeiro retruca: - que catedral? O nativo fica chocado.

O estrangeiro, ao acompanhar com os olhos o foco de luz, pode apreciar as minúcias do trabalho do artesão, mas não conseguiu distinguir o do arquiteto. Para o nativo, que já tinha familiaridade com a construção, visão e memória fundiam-se num sentido único. Com este sentido ele foi capaz de "ver" ao mesmo tempo o detalhe e o seu contexto, o pedaço e o todo, o local e o global. Para o estrangeiro, que não conhecia previamente a catedral, o resultado da visita foi um amontoado mais ou menos amorfo de elementos."<sup>(37)</sup>

Do mesmo modo que o turista, o homem caminhando em cruz na cidade ou o estrangeiro que visita a catedral, o estudante de física, depois de ter visto parte por parte da teoria, um conceito depois do outro, uma lei depois da outra, dificilmente será capaz de, por si só, transcender o caminho que percorreu e organizar o conteúdo no todo multidimensional e significativo da teoria. Essa situação será tão mais acentuada quanto mais fragmentada for a apresentação da teoria. Quando as suas partes são vistas isoladamente, sem conexões umas com as outras, a tendência é a aquisição de um conhecimento cheio de rupturas, de buracos, pouco significativo. Numa linguagem figurada, trata-se de um conhecimento do tipo "puntual" ou "pontilhado". Essa situação é bastante comum, como discutimos no capítulo II.

Menos frequente é que o estudante consiga juntar as partes que viu sequencialmente, organizando-as em uma linha contínua, reconstruindo em sua mente uma espécie de mapa unidimensional da teoria. Nos casos em que isso ocorre, ele aprende a vê-la segundo uma visão particular, ainda que essa visão não seja explícita. Finalmente, o que é ainda mais difícil e menos comum, o estudante pode aprender a teoria de uma forma global, fazendo as múltiplas interligações de suas partes e reconhecendo seus significados e funções no todo, adquirindo um conhecimento espacial e unificado da mesma.

Essas três possibilidades de apreensão de uma teoria, apresentadas aqui de uma forma relativamente esquemática podem ocorrer, na realidade, em múltiplas variedades ou combinações. No entanto, elas são úteis para ilustrar alguns problemas do processo ensino-aprendizagem dados pelo caráter estrutural das teorias físicas. Servem, sobretudo, para alertar sobre a importância de se trabalhar nos cursos esse aspecto do conhecimento de Física, de forma que a percepção de unidade das teorias seja favorecida. Acreditamos que, se deixarmos isso a cargo dos estudantes, não nos preocupando em intervir nesse processo, dificilmente nossos cursos estarão contribuindo para que esses estudantes se apropriem do conteúdo trabalhado. Como continua Robilotta após a narração da "fábula da catedral", "...é importante que o ensino facilite o acesso dos estudantes tanto ao trabalho de arte como ao do arquiteto" (38).

### III.3. REPRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA: MAPAS CONCEITUAIS

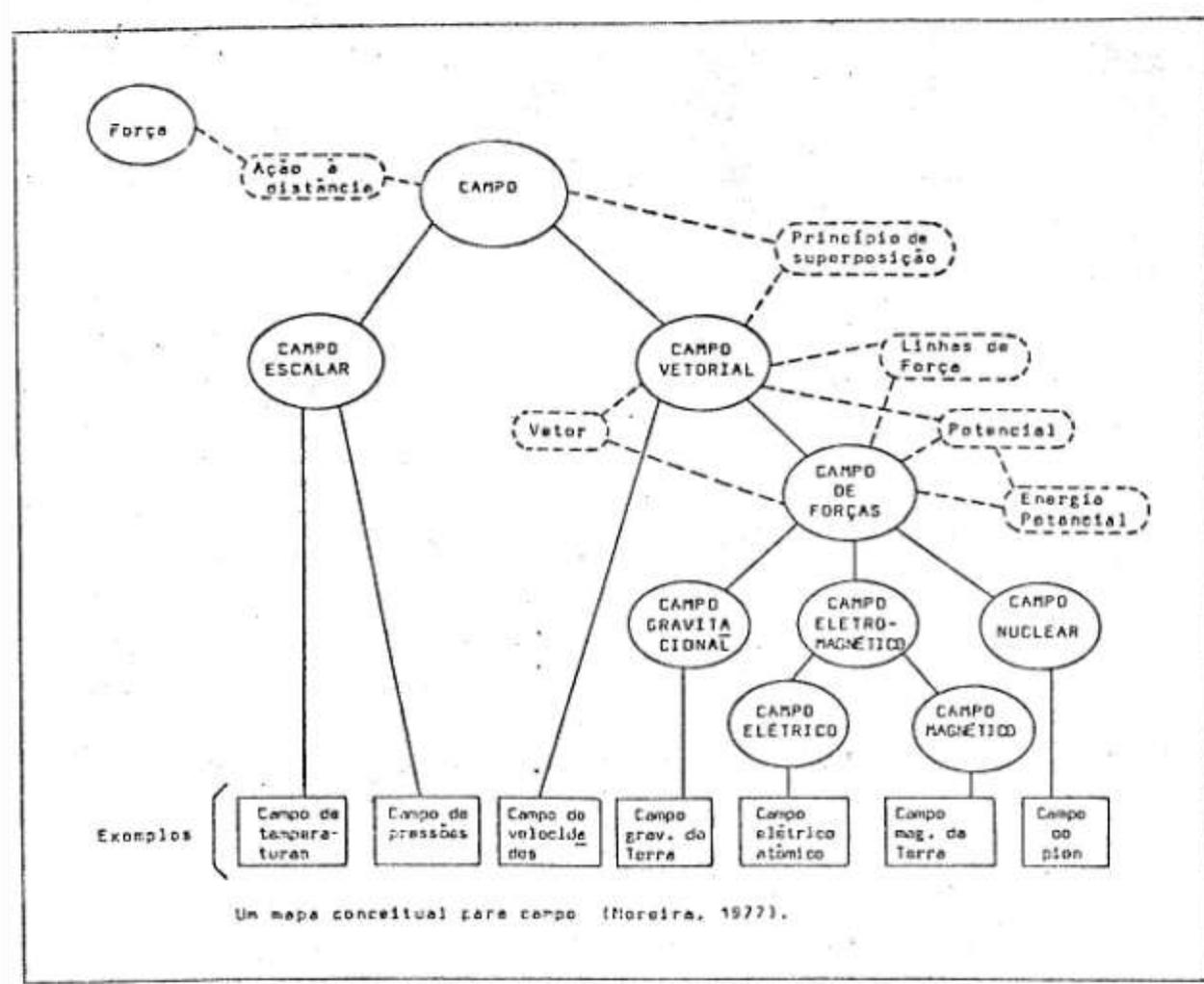
Tal como a cidade, a estrutura de uma teoria pode ser representada graficamente através de um mapa, que denominamos "mapa conceitual" da teoria. Em princípio, um mapa conceitual pode ser entendido como qualquer diagrama que relacione os conceitos de uma teoria em uma ou mais dimensões.

A idéia de mapas conceituais foi especialmente explorada por Moreira em inúmeros trabalhos que têm por base a teoria de aprendizagem de Ausubel (39). Segundo Moreira:

*"Em um sentido amplo, mapas conceituais são apenas diagramas indicando relações entre conceitos... Mais especificamente, no entanto, eles podem ser vistos como diagramas hierárquicos que procuram refletir a organi*

zação conceitual de uma disciplina ou parte de uma disciplina." (40)

Ainda segundo Moreira, mapas conceituais podem ser construídos para toda uma disciplina, para parte de uma disciplina ou mesmo para um tópico mais específico. O diagrama abaixo é um exemplo de mapa conceitual proposto por ele para o conceito de "Campo" (41).



No presente trabalho, estamos particularmente preocupados com a explicitação da estrutura conceitual de uma teoria, ou seja, com um mapa que represente esquemática e concomitantemente os diversos elementos que a constituem e suas inter-relações. Os mapas conceituais são importantes no problema que estamos tratando, pois correspondem a um registro estático e sincrônico

co de uma estrutura, uma apresentação simultânea das partes interligadas no todo, uma explicitação da sua multidimensionalidade.

A elaboração de um mapa conceitual é um processo que envolve extrair os conceitos mais significativos de uma teoria e estabelecer suas múltiplas interligações. Isso pode ser feito a partir de diferentes apresentações ou visões da teoria e com diferentes orientações quanto à forma. No caso do mapa proposto por Moreira, por exemplo, o "Princípio Ausubeliano da diferenciação progressiva" orienta a sua construção. Nesse sentido, o mapa de uma dada estrutura conceitual não é único. Cada indivíduo faz seu próprio mapa, referenciado na sua particular interpretação da teoria e segundo um determinado modelo de representação. Um mapa construído com base em um texto que enfatiza um particular aspecto da teoria, refletirá esse modo de interpretá-la, apresentando alguns conceitos como centrais e outros como periféricos, e relacionando-os através de caminhos guiados por essa ênfase.

Quando mapas são feitos a partir de bases e critérios comuns, de visões de mundo semelhantes, eles tendem a convergir, não apresentando diferenças muito grandes. Entretanto, a utilização de vários livros didáticos, de apresentações diferentes de uma mesma teoria, com diferentes enfoques, permite a obtenção de muitos caminhos ou formas de relacionar os seus conceitos, em diferentes hierarquias. E pode, assim, conduzir à construção de um mapa mais abrangente, que englobe as várias abordagens através das quais a teoria pode apresentar-se, que transcenda os caminhos ou linearizações particulares e, por isso, abarque de uma só vez, diversas leituras ou interpretações da teoria. Essa é a tentativa que fazemos nesse trabalho. A fim de ilustrar essas idéias exibimos o mapa conceitual que elaboramos para a teo-



sobre a teoria, mais nítida em nossa mente vai revelando-se sua estrutura ao mesmo tempo que sua representação vai transformando-se.

Até aqui, analisamos os aspectos referentes à construção de um mapa. Vejamos agora o problema do ponto de vista de quem faz a leitura de um mapa conceitual já construído. Na medida em que se trata de uma representação esquemática de uma estrutura complexa, feita de símbolos ou palavras que representam conceitos e de linhas que representam suas ligações, um mapa conceitual, visto isoladamente, não revela muita coisa. É preciso que ele seja interpretado para que ganhe significado. O leitor pode ter experimentado esse problema quando apresentamos o mapa acima, sem complementá-lo com qualquer explicação. À primeira vista, esse mapa mostrou apenas que os vários elementos estão relacionados, sem nada afirmar sobre a natureza ou significado dessas relações. Na verdade, as suas várias linhas, apesar de representadas da mesma maneira, possuem características diferentes, dadas pelo seu nível de detalhamento (algumas delas podem ser substituídas por um conjunto de outras linhas, outras são mais simples e diretas), pela sua natureza (podem representar uma lei, uma definição, uma relação matemática) e, ainda, pelo seu significado ou função no todo. É principalmente esse último aspecto que está associado às possíveis e diferentes visões de mundo subjacentes à teoria.

Por isso, é muito importante que a utilização de um mapa conceitual como instrumento didático seja acompanhada de uma discussão das várias interpretações e significados que seus elementos comportam. Em outras palavras, o desenho do mapa significa pouco quando tomado isoladamente. Ele somente adquire sentido quando nós o "enchemos" de significado.

As possibilidades de emprego de mapas conceituais em

um curso são várias. Se apresentado pelo professor, essencialmente ele é útil para fornecer uma visão de conjunto da teoria, situando cada parte no todo e evidenciando os vários caminhos que podem ligar diferentes conceitos ou partes da teoria. Isso pode ser feito no início, no meio ou ao final de um curso, de acordo com propósitos diferentes. Ele pode ser usado, também, como um instrumento de avaliação se elaborado por estudantes que já têm uma certa familiaridade com o conteúdo, fornecendo informações a cerca da visão que eles têm da teoria em seu conjunto. Nesse caso, o mapa deveria ser completado com explicações do estudante so bre os significados de suas várias partes. Enfim, as propostas e experiências nesse sentido podem ser muitas, mas não é nosso ob-  
jetivo fazê-las e discuti-las nesse trabalho. Nosso propósito pre sente é a sugestão de um modelo de representação de uma estrutu-  
ra conceitual e a sua particular utilização para um conteúdo es-  
pecífico, a Eletrostática; o que será desenvolvido nos próximos capítulos.

NOTAS E REFERÊNCIAS

- (1) Delizoicov Neto, Demétrio, "Concepção Problematizadora para o Ensino de Ciências na Educação Formal", Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências (modalidade Física), Instituto de Física e Faculdade de Educação - USP, São Paulo, 1982.
- (2) Ref. (1), p. 101.
- (3) Dentre esses trabalhos citamos os seguintes:  
Medeiros, Alexandre J.G., "Condicionantes Históricas e Sociais no Surgimento da Física", Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências (modalidade Física), IFUSP/FEUSP, São Paulo, 1984;  
Souza Filho, Oswaldo N., "Evolução da Idéia de Conservação de Energia, Um Exemplo da História da Ciência no Ensino de Física", Memorial para Exame de Qualificação ao Mestrado em Ensino de Ciências (modalidade Física), IFUSP/FEUSP, São Paulo, 1984;  
Aurani, Kátia Margareth, "Ensino de Conceitos: Estudo das Origens da 2ª Lei da Termodinâmica e do Conceito de Entropia a Partir do Século XVIII", Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências (modalidade Física), IFUSP/FEUSP, São Paulo, 1986.  
Zanetic, João, "Que Papel a História da Ciência tem no Ensino de Física", texto publicado pela Comissão Cultural da APEOESP, São Paulo, 1981. (mimeo).
- (4) Harper, Babette et al., Cuidado Escola!, Ed. Brasiliense, São Paulo, 1980, p. 64.

- (5) Extraído do Manual de "Cursos de Graduação - Área de Ciências Exatas e Tecnologia", Universidade de São Paulo, 1984.
- (6) Freire, Paulo, Pedagogia do Oprimido, Ed. Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1974.
- (7) Ref. (6), p. 113.
- (8) Freire, Paulo, Ação Cultural para a Liberdade, Ed. Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1976, p. 83.
- (9) Kuhn, Thomas S., "A Função do Dogma na Investigação Científica", in "A Crítica da Ciência", Deus J.D. (org.), Editora Zahar, Rio de Janeiro, 1978.
- (10) Sobre "paradigmas", ver Kuhn, Thomas S., A Estrutura das Revoluções Científicas, Ed. Perspectiva, São Paulo, 1975 (prefácio) e Segundos Pensamentos sobre Paradigmas, Editora Tecnos, Madrid, 1978.
- (11) Caraça, Bento Jesus. Citado por Zanetic, João em "Que Papel a História da Ciência tem no Ensino de Física", Comissão Cultural da APEOESP, São Paulo, 1981. (mimeo).
- (12) Orear, Jay, Fundamentos da Física, vol. 1, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1981. Capítulo 5, p. 57.
- (13) Kuhn, Thomas S., A Estrutura das Revoluções Científicas, Ed. Perspectiva, São Paulo, 1975, p. 178.
- (14) O Prof. Marcello Cini, físico italiano, esteve no Instituto de Física da USP em 1979 e 1980, ministrando os cursos de "Tópicos da Ciência nos Séculos XIX e XX" e "O Nascimento da Mecânica Quântica", respectivamente. Concedeu uma entrevista à REVISTA DE ENSINO DE FÍSICA - SBF, publicada no Vol. 3, nº 1, Março/1981, da qual extraímos esse trecho (p. 68).
- (15) Ref. (14), p. 59.

- (16) Toulmin, S.. Citado por Novak, J.D., Uma Teoria da Educação, Biblioteca Pioneira de Ciências Sociais, São Paulo, 1981.
- (17) Holanda, Aurélio F. Buarque, "Novo Dicionário da Língua Portuguesa", Ed. Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1ª Ed., 14ª impressão. (vide "estrutura").
- (18) Piaget, Jean, O Estruturalismo, Coleção "SAber Atual", Difusão Européia do Livro, 1970, p. 10.
- (19) Ref. (7), vide "gestalt".
- (20) Arnheim, Rudolf, Arte e Percepção Visual - Uma Psicologia da Visão Criadora, Livraria Pioneira Editora, São Paulo, 1984.
- (21) Capra, Fritjof, O Tao da Física, Ed. Cultrix, São Paulo, 1984, p. 117.
- (22) O termo "paradigma" está sendo empregado aqui com o sentido discutido no capítulo II, segundo a concepção de T. Kuhn.
- (23) Ref. (13), p. 137.
- (24) Ref. (13), p. 116.
- (25) Ref. (13), p. 144.
- (26) Ref. (13), p. 116.
- (27) Ref. (13), p. 128.
- (28) Kuhn, Thomas, S., The Copernican Revolution, Vinlage Books, New York, 1968.
- (29) Sobre o Indutivismo, veja Chalmers, A.F., What Is This Thing Called Science?, The Open University Press, Milton Keynes, Inglaterra, Cap. I e II.
- (30) Uma interessante discussão sobre a existência de convenções por trás de sensações e comportamentos que frequentemente julgamos serem naturais, é feita por Robilotta, Manoel R. em "Construção & Realidade no Ensino de Física", Instituto de Física da USP, São Paulo, 1985. (mimeo).

- (31) Citado em McLuhan, Marshall, *A Galáxia de Gutenberg*, Companhia Editora Nacional, São Paulo, 1977, p.p. 64-65.
- (32) Bunge, Mario, *La Investigacion Científica - su Estrategia y su Filosofia*, Colección "Convivium", Editora Ariel, Barcelona, Espanha, 1973, p. 416.
- (33) Alves, Rubem, *Filosofia da Ciência - Introdução ao Jogo e suas Regras*, Ed. Brasiliense, São Paulo, 1985, p. 110.
- (34) Ref. (20), Introdução.
- (35) Uma análise sobre diferentes "leituras" de uma mesma teoria (Eletromagnetismo) em livros didáticos distintos, é feita por M. Inês Nobre Ota, em sua dissertação de mestrado, "Um Texto de Eletromagnetismo e Relatividade Baseado no Conhecimento Estrutural" (Capítulo III), IFUSP/FEUSP, 1985.
- (36) Ref. (20), p.p. 83 e 84.
- (37) Ref. (30), p.p. IV-2 e IV-3.
- (38) Ref. (30), p.p. IV-3 e IV.4.
- (39) Marco Antônio Moreira é professor de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e tem inúmeros trabalhos publicados sobre ensino de Física, baseados na teoria de aprendizagem de David Ausubel.
- (40) Moreira, M.A., "Mapas Conceituais como Instrumentos para Promover a Diferenciação Conceitual Progressiva e a Reconciliação Integrativa", *Ciência e Cultura*, 32(4): 474-479, 1980.
- (41) Ref. (30), p. 13.
- (42) Purcell, Edward M., *Curso de Física de Berkeley, Vol. 2- Eletricidade e Magnetismo*, Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1973. Este livro constitui uma notável exceção em relação à maioria dos livros didáticos de Física, por explicitar e discutir relações conceituais da teoria e muitas vezes transcender o seu formalismo.

- (43) Hamburger, Ernst W., "Apostila de Física 3", Instituto de Física da USP, São Paulo, 1978. (mimeo).
- (44) Veja Ref. (42), cap. 5, p.p. 149-157 e Ref. (30), p. II-9.
- (45) Jackson, John D., Classical Electrodynamics, Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York-London, Cap. I, secção 11.
- (46) Esta conhecida figura de Gestalt é apresentada por Rubem Alves em um paralelo à discussão sobre a construção de teorias científicas, Ref. (33), p. 156.
- (47) Ref. (30), p. II-6.
- (48) O curso de Física 3 oferecido nesse ano (1981) era coordenado pelo professor Manoel R. Robilotta, orientador e co-participante desta pesquisa.
- (49) Martins, Luciano, "A Geração AI-5", Ensaios de Opinião 2-9, Ed. Paz e Terra, São Paulo, 1979, p. 72-102.
- (50) Elton, L.R.B. et al., "Preknowledge Survey for University Science Entrants", Reprinted from Nature, Vol. 222, 1969, p.p. 526-528.
- (51) Salém, Sônia, "Consciência da Estrutura no Conhecimento de Teorias Físicas", Memorial para Exame de Qualificação na Área de Ensino de Ciências (modalidade Física), IFUSP/FEUSP, São Paulo, 1982.

BIBLIOGRAFIA

- Alonso, Marcelo e Finn, Edward J., Física - Um Curso Universitário, Vol. 2, Editora Edgard Blücher Ltda., 1972.
- Alvarenga, Beatriz e Máximo, Antonio, Curso de Física, Vol. 3, Harper & Row do Brasil, São Paulo, 1979.
- Alves, Rubem, Filosofia da Ciência - Introdução ao Jogo e suas Regras, Ed. Brasiliense, São Paulo, 1985.
- Arnheim, Rudolf, Arte e Percepção Visual - Uma Psicologia da Visão Criadora, Livraria Pioneira Editora, São Paulo, 1984.
- Ausubel, David, Educational Psychology: A Cognitive View, Rinehart e Winston, New York, 1968.
- Bruner, J.S., O Processo da Educação, Editora Nacional, São Paulo, 1973.
- Bunge, Mario, La Investigacion Científica - su Estrategia y su Filosofia, Editora Ariel, Barcelona, Espanha, 1973.
- Capra, Fritjof, O Tao da Física, Ed. Cultrix, São Paulo, 1983.
- Chalmers, A.F., What Is This Thing Called Science?, The Open University Press, 2ª Ed., Hilton Keynes, Inglaterra, 1976.
- Corbisier, Roland, Enciclopédia Filosófica, Editora Vozes, São Paulo, 1974.
- Delizoicov Neto, Demétrio, "Concepção Problematizadora para o Ensino de Ciências na Educação Formal", Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências (modalidade Física), IFUSP/PFEUSP, São Paulo, 1982.
- Einstein, Albert e Infeld, Leopold, A Evolução da Física, Zahar Editores, Rio de Janeiro, 1976.

- Elton, L.R.B.; O'Connell, S.; Nilson, A.W., "Preknowledge Survey for University Science Entrants", Reprinted from Nature, Guildford, Surrey, Inglaterra, 1969.
- Freire, Paulo, *Ação Cultural para a Liberdade*, Ed. Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1976.
- Freire, Paulo, *Concientizacion*, Ediciones Busqueda, Buenos Aires, Argentina, 1974.
- Freire, Paulo, *Pedagogia do Oprimido*, Ed. Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1979.
- Gebara, Shirley T. e Moreira, Marco Antonio, "Mapas Conceituais no Ensino de Física", *Ciência e Cultura*, 38(6), São Paulo, 1986.
- Goldman, Carla; Lopes, Eliana e Robilotta, Manoel R., "Um Pouco de Luz na Lei de Gauss", *Revista de Ensino de Física*, 3(3):3-15, Set. 1981.
- Halliday, David e Resnick, Robert, *Física*, Vol. 3, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1982.
- Hamburger, Ernst W., "Apostila de Física 3", Instituto de Física da USP, São Paulo, 1978.
- Harper, Babette; Ceccon, Claudius; Oliveira, Miguel D.; Oliveira, Rosiska, D.; Freire, Paulo (apresentador), *Cuidado, Escola!*, Ed. Brasiliense, São Paulo, 1980.
- Holanda, Aurélio Buarque F., *Novo Dicionário da Língua Portuguesa*, Ed. Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1ª Ed., 14ª impressão.
- Köhler, W., *Psicologia de Gestalt*, Editora Itatiaia Limitada, Belo Horizonte, 1968.
- Kopnin, P.V., *Fundamentos Lógicos da Ciência*, Editora Civilização Brasileira S.A., Rio de Janeiro, 1972.
- Kuhn, Thomas S., *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Editora Perspectiva, São Paulo, 1975.

Kuhn, Thomas S., "A Função do Dogma na Investigação Científica", in *A Crítica da Ciência*, Deus, J.D. (org.), Editora Zahar, Rio de Janeiro, 1978.

Lakatos, Imre e Musgrave, Alan (org.), *A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento*, Editora Cultrix e Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

Magalhães, Theresa C., "Classe Média e Linguagem (Um comentário crítico sobre a obra de B. Bernstein)", *Ensaio de Opinião*, 2-9, Editora Paz e Terra, 1979.

Martins, Luciano, "A Geração AI-5 (Um ensaio sobre autoritarismo e alienação)", *Ensaio de Opinião*, 2-9, Editora Paz e Terra, 1979.

McLuhan, Marshall, *A Galáxia de Gutenberg*, Companhia Editora Nacional, São Paulo, 1977.

Moreira, Marco Antonio, "A Teoria de Aprendizagem de David Ausubel como Sistema de Referência para a Organização de Conteúdos de Física", *Rev. Bras. de Fís.* 9(1):275-292, 1979.

Moreira, Marco Antonio, "Mapas Conceituais como Instrumentos para Promover a Diferenciação Conceitual Progressiva e a Reconciliação Integrativa", *Ciência e Cultura* 32(4):474-479, São Paulo, 1980.

Moreira, Marco Antonio, "Concept Maps as Tools for Teaching", *Journal of College Science Teaching* 7(5):283-6, 1979.

Novak, J.D., *Uma Teoria da Educação*, Biblioteca Pioneira de Ciências Sociais, São Paulo, 1981.

Orear, Jay, *Fundamentos de Física*, Vol. 1 e Vol. 2, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1981.

- Ota, Maria Inês N., "Um Texto de Eletromagnetismo e Relatividade Baseado no Conhecimento Estrutural", Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências (modalidade Física, IFUSP/FEUSP, São Paulo, 1985.
- Pereira, Otaviano, O que é Teoria, "Coleção Primeiros Passos" (59), Ed. Brasiliense, São Paulo, 1982.
- Piaget, Jean, O Estruturalismo, "Coleção Saber Atual", Difusão Européia do Livro, 1970.
- Purcell, Edward M., Curso de Física de Berkeley, vol. 2 - Eletricidade e Magnetismo, Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1973.
- Revista de Ensino de Física - SBF 3(1):67-75, Maio 1981, Entrevista com o Prof. Marcello Cini.
- Robilotta, Manoel R., "Construção e Realidade no Ensino de Física", Instituto de Física da USP, São Paulo, 1985.
- Santos, Carlos Alberto e Moreira, Marco Antonio, "Instrumentos de Medida para o Mapeamento Cognitivo de Conceitos Físicos", Rev. Ens. de Fís. 9(3):835-48, 1979.
- Tipler, Paul A., Física, Vol. 2, Editora Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1978.
- Zanetic, João, "Que Papel a História da Ciência pode ter no Ensino de Física?", Comissão Cultural da APEOESP, São Paulo, 1981.