

ALBERTO VILLANI

SBI-IFUSP



305M810T0959

CONTEÚDO CIENTÍFICO  
E

PROBLEMÁTICA EDUCACIONAL

Na Formação do Professor de Ciência



Tese de Livre Docência  
apresentada ao Instituto  
de Física da USP.

"A Qualidade não é objetiva. As vezes ocorrem sensações de Qualidade na ausência de qualquer objetivo.

A Qualidade não é subjetiva. Ela por diminuir a subjetividade, faz com que saiamos de nós mesmos, com que tomemos consciência do mundo que nos rodeia.

A Qualidade encontra-se justamente na relação entre sujeito e objeto ... É o evento no qual o sujeito toma consciência do objeto...

Agora temos dois tipos diferentes de Qualidade, que não dividem a Qualidade em si. São apenas dois aspectos cronológicos diferentes da Qualidade, um, curto, e outro longo ...

A Qualidade romântica relaciona-se às impressões instantâneas ... A Qualidade romântica é o presente, o aqui e agora. A Qualidade clássica sempre lida com algo que transcende o presente. A relação entre presente, passado e futuro é sempre levada em conta.

Se acharmos que o passado e o futuro estão contidos no presente, agimos no sentido emocional e vivemos só o presente... ..Mas se a gente considera o presente como um mero instante entre o passado e o futuro, apenas um momento passageiro, então passa a ser de má qualidade essa negação do passado e do futuro...

Entretanto é a Qualidade que nos faz criar todo o mundo em que vivemos, nos mínimos detalhes".

R.M.Pirsig: "Zen e a Arte da Manutenção de Motocicletas".

A Sonia, Elvira, Emilia e Anita.

à todos os Professores e Alunos que procuram Qualidade no seu trabalho cotidiano.

## AGRADECIMENTOS

A Professora Doutora Jesuína L.A.Pacca, pela leitura crítica deste trabalho, pelas preciosas discussões e sugestões e pelo apoio na elaboração deste trabalho

Aos Professores Sonia M. Villani, Cristina Mariani, Roberto I. Kishinami e Demétrio Delizoicov pela leitura deste trabalho e pelas sugestões.

Aos Estudantes de Pós-Graduação que participaram das pesquisas descritas neste trabalho.

A Professora Eliana Steiner, pela revisão de linguagem.

Ao CNPq pelo apoio financeiro ao trabalho mediante bolsa de pesquisa.

Ao PADCT pelo apoio financeiro na edição deste trabalho.

As Senhoritas Izabel T. Yokomizo, Márcia Silvani e Beatriz B.Casaro pela datilografia. A toda a Secretaria do Departamento de Física Experimental e a equipe de reprodução gráfica pela colaboração.

## R E S U M O

Este trabalho refere-se à formação do professor de Ciência; propõe que este processo se constitua na passagem de uma visão comum sobre conteúdo científico, ensino, aprendizagem e educação para uma conceituação científica desses mesmos fatores, baseada em resultados das pesquisas nessas áreas.

Após uma discussão detalhada sobre Ciência e desenvolvimento científico, concepções espontâneas e projetos de ensino, contribuições metodológicas e enfoques ideológicos, é discutido o esboço de um currículo moderno de Licenciatura em Ciências, capaz de integrar conteúdo científico e problemática educacional.

## A B S T R A C T

This work deals with the training of Science teachers. It is proposed that this process should consist in promoting the change from a common vision about scientific content, teaching, learning and education to a scientific conceptualization of the same themes, based on the results of researches in these areas.

After a detailed discussion about Science and scientific development, spontaneous reasoning and projects on teaching, methodological contributions and ideological approaches, it is presented and discussed an out-line of a modern curriculum for the training of Science teachers, able to integrate scientific contents and educational problems.

CONTEÚDO CIENTÍFICO E PROBLEMÁTICA EDUCACIONAL  
NA FORMAÇÃO DO PROFESSOR DE CIÊNCIA

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	
Bibliografia Citada .....	p. 1
I. PRÁTICAS, CONTEÚDOS E PRESSUPOSTOS .....	p. 8
1. Pressupostos .....	p. 9
2. Conclusões .....	p. 12
Bibliografia Citada .....	p. 23
II. FÍSICA E CIÊNCIA : OS ELEMENTOS BÁSICOS .....	p. 26
1. Questionando uma Imagem .....	p. 29
1.1 Teoria e Experimentação .....	p. 30
1.2 Indução e Método Científico .....	p. 34
1.3 A Ciência e os Inobserváveis .....	p. 41
1.4 A Função da Matemática .....	p. 46
2. Ciência e Pseudo-Ciência .....	p. 50
Bibliografia Citada .....	p. 54
III. OS MODELOS DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO .....	p. 56
1. Ciência Independente.....	p. 57
2. Ciência Semi dependente .....	p. 61
2.1 A Racionalidade da Ciência .....	p. 65
2.2 Evolucionismo Natural e sua Historicidade .....	p. 72
3. Ciência Dependente .....	p. 74
4. Conclusões .....	p. 78
Bibliografia Citada .....	p. 81
IV. NOÇÕES ESPONTÂNEAS: PESQUISAS E RESULTADOS .....	p. 82
1. Piaget e o Pensamento Espontâneo .....	p. 83
2. As Noções Espontâneas nas Pesquisas Atuais .....	p. 89
3. Tendências e Perspectivas da Área .....	p. 98
4. Comentários e Conclusões .....	p. 110
Bibliografia Citada .....	p. 113



## INTRODUÇÃO

A criação da Universidade de São Paulo e, mais especificamente, da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras fez parte de um projeto ambicioso de criação de uma "elite" intelectual capaz de enfrentar os problemas de uma nação que pretendia emergir no cenário internacional (Cardoso, 1982).

A proposta da Escola Nova completava este projeto, introduzindo no círculo da Educação grandes massas de estudantes até então marginalizados (manifesto, 1932).

Os professores de Ciência formados nas Universidades pertenciam à "elite" e sua missão era a Educação Científica das futuras classes dirigentes, educação considerada fundamental para uma visão de mundo moderna e adequada aos projetos de desenvolvimento.

Os professores das Escolas Primárias e Profissionais Normais tinham a missão de lidar com a futura classe trabalhadora e fornecer a ela um mínimo de preparo para que pudesse acompanhar as exigências do desenvolvimento. A ênfase era na metodologia e no envolvimento dos alunos em trabalhos práticos e disciplinados.

A ênfase na Educação Científica, ao contrário, era o conteúdo científico; a Universidade convidou vários pesquisadores estrangeiros para que a formação dos futuros professores de Ciência fosse de primeira qualidade e eles pudessem entrar em con

tato com o conhecimento científico mais moderno.

O resultado de todo esse esforço foi uma formação sólida que, acoplada a boas condições de trabalho e a uma remuneração satisfatória, contribuía para tornar a profissão atrativa e manter o "status" privilegiado do professor de Ciência na sociedade. A defesa da escola pública de nível médio (Saviani, 1980), durante a década de cinquenta, é uma expressão desta situação.

Durante a década de sessenta houve uma ruptura deste equilíbrio por várias e complexas razões.

A comunidade científica internacional do mundo Ocidental começava a questionar-se fortemente sobre a qualidade do Ensino de Ciência, sobretudo depois do sucesso do lançamento do Sputnik pela União Soviética, que mostrava claramente a necessidade de um esforço redobrado para recuperar o tempo perdido na Educação Científica.

Nasceram assim os grandes projetos internacionais de Ensino de Ciências (P.S.S.C., B.S.S.C., Nuffield) que pretendiam substituir o antigo ensino livresco por um novo ensino mais experimental e tecnológico.

O Brasil também sentiu este estímulo à renovação do Ensino de Ciência, sobretudo em Física; a tradução e difusão do P.S.S.C. e a realização do Projeto Piloto são os sinais mais evidentes desta tendência. Entretanto, a mudança sócio-econômica que se estava realizando teve efeitos bem drásticos sobre a formação do professor de Ciência.

A industrialização rápida da economia brasileira conduzida pelos grandes investimentos do Estado e das Multinacionais teve como efeito a urbanização crescente, o aumento forte da demanda de profissionais, o aumento da procura de diplomas univer-



sitários e o desvio de recursos públicos da área de Educação para os setores produtivos (Wojciek, 1985).

Como resultado, tivemos (Cunha, 1975):

- Expansão da rede de primeiro e segundo graus por parte do Estado, com uma concomitante deteriorização das condições de ensino.
- Expansão da rede particular do terceiro grau, com a conseqüente expansão da demanda de professores para este nível.
- Profissionalização do ensino de 2º grau, com conseqüente diminuição da carga horária das disciplinas científicas.
- Desvalorização do salário do professor de Ciência de 1º e 2º graus e transferência para a rede particular da tarefa de formar a futura elite econômica e política do país.
- Esforço, nas universidades públicas, para a formação de professores universitários e pesquisadores mediante o bacharelado e a pós-graduação e abandono da preocupação com a formação do professor de 1º e 2º graus.
- Elaboração de projetos nacionais de Ensino de Ciência visando a melhoria da qualidade do material didático e de sua eficiência, reduzindo a responsabilidade do professor de 1º e 2º graus e rebaixando-o à função de monitor capaz de "administrar" material didático já preparado.
- Instauração das controvertidas licenciaturas curtas, que deveriam resolver com pouco custo o problema da expansão da rede escolar pública de 1º grau.
- Finalmente, desprestígio social da profissão de professor de Ciência no primeiro e segundo graus e diminuição de sua procura pelos estudantes mais promissores.

Neste novo patamar de equilíbrio, a pouca remuneração

e as difíceis condições de trabalho para o professor de Ciência encontraram reforço na sua formação aleatória, sua pouca competência profissional e no seu desânimo generalizado.

No que diz respeito à Universidade de São Paulo, o equilíbrio encontrado foi instável pois, de um lado, as Licenciaturas em Ciência de "filhos queridos" se tornaram quase "fruto indesejável", tratado mais burocraticamente do que com a preocupação pedagógica e, de outro lado, foram criados grupos de pesquisas em Ensino de Ciência realizando projetos interessantes e, mais em particular, foi institucionalizada uma Pós-graduação em Ensino de Ciência (mod. Física).

No Instituto de Física, em particular, a contradição foi patente: à inércia institucional na adaptação e na reformulação do currículo de Licenciatura se opuseram várias iniciativas isoladas para tornar as disciplinas mais interessantes e mais adequadas às necessidades do professor de Física.

#### OBJETIVO DA TESE

Este nosso trabalho, que diz respeito à formação do professor de Ciência e, mais em particular, de Física, pretende resgatar o currículo de Licenciatura de seu abandono, incorporando de maneira sistemática e unitária as sugestões interessantes elaboradas ao longo destes anos, e colocando-as aos cuidados da nova geração de pesquisadores em Educação Científica, envolvidas na criação e no funcionamento da Pós-Graduação, assim como nas iniciativas para a melhoria do Ensino de Ciência.

Estes pesquisadores, provenientes de formações diferentes, têm-se reunido sistematicamente para discutir o Ensino

de Ciência e suas bases científicas, para criar programas e linhas de pesquisa na área de Educação Científica e desenvolver projetos junto com professores de Ciência de primeiro e segundo graus. Desta maneira, tem-se criado as condições para avaliar, quase que imediatamente, os efeitos da formação de professores e a capacidade que estes têm de analisar sistematicamente e profissionalmente o Ensino de Ciência. Neste ambiente de discussões e pesquisa também nasceu e se desenvolveu a idéia deste trabalho.

Aqui pretendemos discutir o que é Ciência e o que é Física, como são elaboradas as idéias sobre os fenômenos naturais, como se aprendem e como se ensinam as Ciências Exatas, quais as implicações sociais do Ensino de Ciência; desta maneira, acreditamos estabelecer bases sólidas para a discussão e elaboração do currículo de Licenciatura.

Este trabalho constitui a síntese refletida e amadurecida de nossos trabalhos de pesquisa na área de Ensino de Física, de nosso esforço de orientação de doutorados e mestrados e de nossas responsabilidades em projetos de formação de professores. Todas essas atividades, além de fornecerem intuições específicas sobre o currículo da Licenciatura, nos permitiram também uma análise mais sistemática sobre os seus pressupostos.

Este trabalho, que constitui o produto final, explícito e teórico dessa análise sistemática, pretende não somente explicitar as esquematizações rudimentares que constituem os pressupostos implícitos da elaboração dos currículos atuais, mas também mostrar, a partir de resultados recentes e importantes das pesquisas sobre Educação Científica, como tais esquematizações e pressupostos são inadequados. Pretende também focalizar a importância de conteúdos interdisciplinares a serem considerados em

qualquer futura reformulação curricular e apontar caminhos a serem discutidos e experimentados.

### ESTRUTURA DA TESE

Nosso trabalho constará de nove capítulos.

No primeiro capítulo procuraremos delinear os pressupostos intuitivos e a correspondente esquematização que norteiam a visão comum de Ensino de Ciência. Mostraremos também como tal visão é profundamente enraizada e difícil de superar e como ela permeia também as tentativas de melhoramento do Ensino de Ciência e do currículo de Licenciatura.

No segundo e terceiro capítulos tentaremos dar uma resposta sistemática sobre o que é Ciência e o que é Física. Em particular, no segundo capítulo, delinearíamos as características principais de tal disciplina, apontando para seus três componentes: formalismo matemático, experimentação e modelo físico, e para a interação entre os três componentes. No terceiro capítulo, levantaremos o aspecto de desenvolvimento da Ciência discutindo, em particular, a relação entre revolução científica e continuidade (ou evolução) e entre progresso científico e história social.

O apêndice A mostrará a análise de um caso concreto, bastante conhecido e tratado na literatura, a gênese e desenvolvimento da Teoria da Relatividade e seu confronto com a Teoria do Éter.

Nos capítulos quarto e quinto tentaremos delinear nossa idéia de como os estudantes aprendem Física e Ciência e pensam os fenômenos físicos. Em particular, no capítulo quarto apresentaremos uma visão sintética sobre a gênese e os resultados

mais importantes das pesquisas sobre as concepções "espontâneas" ou "alternativas" dos estudantes e mostraremos como elas constituem um saber articulado. No quinto capítulo, relataremos os resultados de nossas pesquisas inéditas sobre as concepções intuitivas de estudantes de Pós-graduação e mostraremos como elas têm muita semelhança com aquelas encontradas em alunos de segundo grau e início da universidade. Os apêndices B e C relatarão mais detalhadamente a pesquisa sobre transmissão de movimento.

O sexto capítulo continuará nossa análise, apresentando um esboço de classificação do material didático e dos grandes projetos nacionais e internacionais que renovaram o Ensino de Ciência.

O sétimo capítulo enfrentará o aspecto social do Ensino de Ciência, desde suas influências ideológicas até sua função prática na promoção e no desenvolvimento dos indivíduos.

O oitavo capítulo representará a síntese de nossa visão de Ensino de Ciência, articulando as características da Ciência a ser aprendida com as da aprendizagem, da arte de Ensinar e suas implicações sociais.

Finalmente, no nono capítulo daremos subsídios para a discussão do currículo de Licenciatura, analisando os conteúdos mais importantes e as atividades didáticas mais significativas. Um resumo sintético, salientando nossa principal contribuição, concluirá este trabalho.

Em se tratando de uma sistematização de várias contribuições para a formação dos professores de Ciência, este trabalho pretende ser o ponto de partida para um enfoque mais sistemático nas discussões sobre o currículo de Licenciatura, sobretudo no que se refere ao aspecto de estrutura, de equilíbrio e de abrangência.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- Cardoso, I.R., "A Universidade da Cominção Paulista", Ed. Aut. Associados - Cortez Editora, São Paulo, 1982.
- Cunha, L.A., "Educação e Desenvolvimento Social no Brasil", Francisco Alves, Rio de Janeiro, 1975.
- Manifesto dos Pioneiros da Educação Nova, citado em Wojciek, 1985.
- Saviani, D., "Uma Estratégia Para a Defesa da Escola Pública...", Rev. Ens. Fís. 2(2) (1980) pp. 77-88.
- Wojciek, K., "Valor, Ciência e Educação...", Dissertação de Mestrado, IFUSP-FEUSP, 1985.

## I. PRÁTICAS, CONTEÚDOS E PRESSUPOSTOS [1]

Quando um docente prepara uma aula normal de Física, considera, na maioria das vezes, que seus estudantes conheçam bem pouco do assunto ensinado ou, no máximo, que eles tenham informações distorcidas a respeito. Conseqüentemente, sua meta torna-se preencher as lacunas dos alunos, em primeiro lugar com a exposição das leis e fórmulas fundamentais, e depois com os exercícios e problemas nos quais estas mesmas leis são utilizadas. E para que alguma coisa permaneça mais facilmente na cabeça dos alunos, essas fórmulas são demonstradas, repetidas, esmiuçadas e aplicadas em casos triviais e em exercícios mais complexos. Os alunos, pelo menos os mais dedicados e disciplinados, tomam nota, pedem esclarecimentos, tentam imitar o professor neste ou naquele exercício ou passagem, até que finalmente aprendem o jogo: quando o exercício é sobre colisões elásticas, é preciso usar as fórmulas das conservações da energia e da quantidade de movimento; quando o problema é sobre equilíbrio, estático e dinâmico, as leis de Newton são a salvação. Pode ser que o professor até mostre algum experimento para confirmar, mas a prova é invariavelmente um exercício bem parecido com os resolvidos em classe ou no livro. A maioria dos alunos é aprovada, mesmo que com dificuldade, e todos ficam satisfeitos.

---

[1] Este primeiro capítulo é uma reformulação de parte de um artigo publicado (Villani, 1984).

A descrição que acabamos de delinear, apesar de simplista e até caricatural, poderia se referir tanto ao ensino de segundo grau, quanto ao ensino de terceiro grau, dirigir-se tanto a estudantes que no futuro nunca mais estudarão Física, quanto a futuros professores de Física, ou futuros bacharéis em Física. Mais do que isso, ela poderia ser a descrição da atividade de um professor competente quanto de um professor mal preparado; ela poderia dar-se tanto numa universidade pública como num colégio particular superequipado, quanto num cursinho, numa universidade de fim-de-semana ou num colégio estadual. Mais do que isso, se substituíssemos Física por Química ou até por Biologia, o discurso iria modificar-se bem pouco.

A primeira e mais imediata conclusão que podemos tirar é que existe um modelo básico de ensino de Física e de Ciência que serve para todos, sendo que as diferenciações específicas da aplicação deste modelo são ou variações de intensidade de algumas atividades, e/ou variações de qualidade em sua execução.

De onde vem tanta uniformidade na perspectiva e tanta regularidade na ação de professores e mestres? Do sucesso do modelo e dos resultados satisfatórios em sua aplicação? Temos muitas dúvidas a respeito.

Para os alunos, as aulas de Física e de Ciência em geral não são o protótipo de aulas apaixonantes; não somente elas requerem uma grande dose de esforço, como também, o resultado do esforço não leva ao desejo de querer aprofundar, dominar melhor ou elaborar mais este conhecimento e/ou suas conseqüências práticas.

Do lado dos docentes, ficam na garganta dúvidas como: será que os alunos sabem realmente aquilo que escrevem nas



provas? Será que eles aprenderam o que foi ensinado? Será que aquilo que foi aprendido tem algum sentido profundo para os estudantes? Será que os alunos estão se tornando bons físicos?

Ao nível dos sintomas, a grande maioria dos docentes concorda que, nas provas, muitas vezes os alunos parecem escrever conteúdos aleatórios ou sem nexos; ninguém discorda de que, na realidade, existe um abismo entre o conteúdo ensinado e o que foi aprendido; muitos reconhecem que o que foi aprendido pelos estudantes raramente ultrapassa o mero significado instrumental de ser o indispensável para passar nas provas; todos sabem que a tarefa de elaborar um projeto de trabalho ou simplesmente redigir um esboço de pesquisa deixa os alunos quase desorientados. Enfim, qualquer atividade que envolva um mínimo de criatividade está fora de alcance de nosso ensino.

No entanto, quando se tenta um diagnóstico sobre esta situação, existe somente um consenso negativo: ninguém questiona o modelo que, de uma forma ou de outra, procuramos e acabamos por seguir, e todos focalizamos este ou aquele detalhe. O tempo para preparar as aulas é pouco, é preciso correr para cumprir o programa, os alunos não estão preparados ou estão pouco motivados, o instrumental à disposição é limitado, os textos didáticos são pouco estimuladores, o próprio conteúdo às vezes é muito abstrato, etc..

Evidentemente, se não é o sucesso da aplicação do modelo que explica a adesão unânime de professores e também de estudantes, então as razões de seu poder quase totalitário devem ser outras.

No próximo item tentaremos elaborar nosso diagnóstico a partir do levantamento da teoria implícita que é quase una-

nimemente aceita e que desabrocha num modelo único de prática de ensino: não somente mostraremos os pressupostos que norteiam esta prática, mas também procuraremos desvendar como a articulação destes pressupostos forma uma visão muito estável que orienta a escolha das atividades eficazes para enfrentar a insatisfação do ensino de Física e de Ciência em geral.

### 1. PRESSUPOSTOS

A descrição da prática comum de Ensino de Física apresentada no item anterior, apesar de simplista, oferece um bom material para começarmos a entender a visão de Ensino que domina nossos currículos e nossas escolas; além disso, outros dados extraídos da prática quotidiana serão introduzidos ao longo de nossa discussão, quando necessário<sup>[2]</sup>. A visão de ensino que regula a maioria de nossas atividades escolares parece ser fundamentada numa série de pressupostos, que focalizaremos a seguir.

O primeiro pressuposto se refere ao processo de aprender Ciência e à atividade da mente dos estudantes: para todos os efeitos práticos a mente dos alunos é uma "tabula rasa" em Ciência. Tanto faz se ele desconhece totalmente o assunto a ser aprendido, ou se já tem idéias distorcidas a respeito, ou se tem alguma noção vaga porém compatível com a que se quer ensinar. Ele deve esquecer tudo e recomeçar numa seqüência ortodoxa: "apagar" o que já sabe para que o novo conhecimento possa reinar incondi-

---

[2] Utilizaremos, em particular, os dados de entrevistas específicas com professores e alunos sobre a prática da docência e da aprendizagem.

cionalmente. Nesta maneira de ver, quando um assunto é bem aprendido ele nunca mais é distorcido, podendo ao máximo ser esquecido.

Isso significa, mais fundamentalmente, que o conhecimento e a mente dos estudantes são "entidades" independentes, ou pelo menos inhomogêneas. O significado do conhecimento está totalmente implícito na mensagem que é transmitida e não depende da interação entre a inteligência do estudante e esta mesma mensagem. Nesta mesma visão, não há como escapar da interpretação única e fechada quanto aos fatos objetivos da Ciência. A eles a mente humana pode ser mais ou menos sensível, assim como pode ser mais ou menos capaz de "enxergá-los" claramente; mas a inteligência não interfere ativamente em seu produto. Ela não o elabora e não o constrói de maneira isomórfica com a sua estrutura.

Esta propriedade de não interferir em seu produto é básica para o "progresso" da Ciência, pois é a garantia da "aproximação da verdade", que a mente somente deve "descobrir"; a invenção, a criação intelectual é só do poeta ou do artista, sendo que, para o cientista, o fundamental é a fidelidade aos fatos empíricos e ao seu significado real.

Nesta concepção, quanto mais "rasa" for a mente dos estudantes, tanto mais perfeita será a "gravação" dos conteúdos a serem aprendidos, pois nenhum significado suplementar espúrio será introduzido. A imagem da "gravação" é particularmente feliz, pois ela resume os dois elementos essenciais: a necessidade do modelo (o conteúdo) a ser gravado e do esforço para realizar uma boa gravação.

O modelo é fornecido pela mensagem do professor e do livro didático: portanto, para aprender é necessário escutar o

que o professor diz, olhar o que ele escreve no quadro negro, prestar atenção ao que ele mostra, ler o que está escrito nos livros. Abrindo bem os olhos (da mente) não há como não aprender. O esforço para realizar a gravação completa na mente é dado pelos exercícios que os alunos devem fazer em sala de aula e fora dela: somente após muitos exercícios alguma coisa ficará bem gravada.

Esta apologia do caráter objetivo do conhecimento, com detrimento da função criadora da inteligência, tem uma posição de destaque na história da Filosofia Ocidental não somente na grande obra de Descartes, mas também no debate entre empiristas e racionalistas e entre idealistas e positivistas, ou na definição medieval de "Verdade" como "adequatio rei et intellectus", no sentido da imagem mental ser cópia fiel da realidade.

O segundo grande pressuposto refere-se ao conteúdo a ser ensinado: ele deve ser claro, definido e estático. É constituído por um "pacote" de fórmulas, que representam as leis científicas fundamentais, e por exemplos "ideais" nos quais as leis são aplicadas. É marcado tanto pela marginalização das situações experimentais e de exemplos extraídos do quotidiano, quanto pela insignificância dos modelos e de seu papel histórico.

Este ponto é particularmente importante, pois de fato centraliza todo o ensino de Ciência. Qual é este conteúdo e como se apresenta nos vários níveis? Vejamos no caso da Física.

Na pós-graduação, o reino da Mecânica Quântica, são equações de onda, matrizes diagonais e não-diagonais, Hamiltonianas perturbadas e não-perturbadas, integrais duplas e triplas, numerosos índices. Uma verdadeira "selva", amenizada de vez em quando com aplicações que dizem respeito a resultados famosos ou parecidos com aqueles que marcaram a história da Física no sécu-

lo XX. No entanto, estes resultados são apresentados sem o contexto histórico e a problemática na qual eles foram obtidos, pois seu significado essencial consiste em expressar confirmações de fórmulas e não aplicações de "modelos". Pela mesma razão, a preocupação com a experimentação, pelo menos como formação geral para todos os pós-graduandos, é nula: afinal, a experimentação é sempre concreta e histórica, e no conflito entre a fórmula e o concreto, a primeira é mais importante porque representa a essência da Física.

Às vezes existe um esforço, por parte do docente, em mostrar a coerência da teoria proposta, a ligação entre suas várias partes, em suma, sua estrutura: no entanto, como um enfeite cultural, isso não é um componente essencial ao objeto de aprendizagem e, por consequência, isso não é exigido nas avaliações.

Na graduação, a Matemática é menos sofisticada, as integrais tornam-se simples e a maioria dos índices desaparecem; as fórmulas e leis são aproximadas e os exemplos e problemas bem mais "ajeitados". Entretanto, a filosofia continua a mesma e o formalismo continua complicado e "opressor", pois os exemplos não se aproximam muito das situações concretas e familiares aos alunos, a satisfação de encontrar algum resultado famoso é pouco provável e o cuidado com a fidelidade ao contexto histórico permanece quase insignificante.

O contexto escolar coloca a Física num universo próprio fundamentalmente essencialista. A apresentação da estrutura das teorias e dos modelos "físicos" continua sendo considerada como um complemento cultural que não pode perturbar a visão do essencial do "pacote"; o ensino de laboratório é obrigatório, mas não imita o desafio e a função da Física experimental, e, con

seqüentemente, não constitui uma competição com o ensino do "pacote", pois de fato e de direito sua importância no currículo é tida por secundária.

No segundo grau, na melhor das hipóteses, a Matemática é reduzida à álgebra, os exercícios são puras aplicações das fórmulas sem relação explícita com experimentos ou com teorias importantes. É o reino dos cursinhos e de seus métodos "eficientes". Temos a impressão de que se trata de uma caricatura da Ciência, incapaz de resistir à passagem entre o vestibular e o primeiro ano da universidade; o conteúdo ensinado não somente é menos extenso do que nos níveis superiores (o que é razoável), mas ele é diluído, leve, abstrato, desconexo e portanto superficial. Nem é necessário dizer que, neste nível, a utilização de exemplos concretos, de contextos históricos e a preocupação com a estrutura das teorias constituem pura utopia.

O próprio ensino de laboratório é quase que totalmente ausente, não somente pelas condições precárias nas quais o ensino de Física se realiza, na grande maioria das escolas de segundo grau, mas também porque a função do laboratório é ilustrar a teoria e, se a teoria não consegue ser aprendida, não há nada para ilustrar ou demonstrar.

A visão de que o conteúdo essencial da Física são suas fórmulas acrescidas dos experimentos que demonstram sua veracidade não é restrita às nossas escolas. É comum ler, em livros importados famosos, que a teoria da Relatividade, em sua essência, se reduz à validade das transformações de Lorentz em referenciais inerciais, e que o experimento de Michelson-Morley é a gênese experimental da teoria de Einstein.

Mais do que isso, esta visão parece ser compartilhada

da por cientistas famosos que deram contribuições importantes à Física: é conhecido o lema de Newton: "hypotheses non fingo" -- com o qual tentava escapar às perguntas sobre as causas da gravitação universal e focalizar, como objetivo primário de sua pesquisa, fórmulas quantitativas que representassem leis universais independentes de modelos. Também é conhecido o pronunciamento de Hertz segundo o qual "a teoria de Maxwell é o sistema de equações de Maxwell", independentemente de modelos que representem as atividades do éter e da matéria.

Reduzir o conhecimento da Física às suas fórmulas auto-explicativas é uma maneira elegante de escapar ao debate sobre a própria natureza do conhecimento e, simultaneamente, realizar o sonho de um conhecimento objetivo, claro e sem sombras de dúvidas, independente da maneira de pensar dos homens, fiel à própria natureza. Enfim, é o ideal "científico" que o ensino tenta reproduzir.

O terceiro pressuposto refere-se ao ensino.

Em primeiro lugar, a arte de ensinar tem alguns segredos: mostrar de forma clara e ordenada aquilo que deve ser gravado pelos alunos, para que eles não façam confusões; repetir várias vezes e de várias maneiras a mensagem, pois a capacidade de ver dos alunos é limitada e eles não vêem tudo aquilo que é mostrado; finalmente, propor exercícios que não sejam muito diferentes dos resolvidos no quadro negro ou no livro, para que o padrão fundamental seja assimilado.

Em segundo lugar, a avaliação deve revelar o essencial, isto é, em que medida o ensinado foi suficientemente "gravado" pelos alunos. A avaliação deve ser uma cópia adaptada (por que não idêntica?) dos exercícios resolvidos em sala de aula ou

fora dela. Ela nos diz que o fundamental em Ciência é aprender os exemplos nos quais as leis são aplicadas, e não aplicar as leis para ver se e como elas funcionam. As novidades e as complicações que poderão aparecer são de natureza matemática (truques, simplificações), e dificilmente poderão referir-se às "idéias científicas" do exercício, ou seja, à natureza do modelo, ou a seus pressupostos, ou a suas condições de contorno e de aplicabilidade.

Em terceiro lugar, o processo de transmissão da Ciência como um todo, que deve nortear a elaboração do curriculum do segundo e terceiro graus, e pós-graduação, deve ser definido pela progressiva redução do conteúdo acoplada ao afastamento de sua forma de produção pelos pesquisadores.

A Ciência sofisticada, complexa, cheia de detalhes e às vezes altamente matematizada, que está na mente e nos trabalhos dos pesquisadores, juntamente com seus modelos mais ou menos grosseiros, dúvidas, hipóteses estranhas ou não, porém capazes de dar algum sentido concreto às fórmulas, é peneirada (e portanto reduzida) ao ser proposta para os (futuros) docentes universitários, que por sua vez assimilam o conteúdo proposto, filtrando o essencial (o formal) abandonando grande parte do resto (o informal, o modelo).

Uma nova redução se dá quando os professores universitários tentam ensinar para seus alunos e (futuros) docentes de segundo grau; uma ulterior e sucessiva redução ocorre quando este conteúdo é assimilado pelos estudantes universitários. Nesta altura, o informal já não existe mais a não ser nos relatos, às vezes sensacionalistas, das tensões e dos acasos que acompanham as grandes descobertas. O trabalho não-linear da pesquisa é re-



duzido ao anedótico que ameniza as aulas (pesadas) sobre o essencial, nas quais a demonstração é sempre superior à intuição. Finalmente, uma última (e definitiva) redução se dá no ensino de segundo grau, seja por parte dos docentes, que apresentam somente uma parte daquilo que eles sabem, seja por parte dos alunos, que assimilam somente uma parte daquilo que foi "ensinado". Nesta última etapa, evidentemente, sobrou muito pouco daquela Ciência que estava nas cabeças dos pesquisadores, de forma que qualquer semelhança é mera coincidência.

Em quarto lugar, garantido o conhecimento do conteúdo e a clareza da exposição, a tecnologia do ensino é enfeite, pelo menos nas situações normais. A utilização sistemática dos recursos educacionais provenientes das áreas de psicologia, comunicação e sociologia do comportamento deve ser deixada para os casos patológicos, quando existem dificuldades individuais ou coletivas para o exercício da inteligência. Para as situações normais, basta o bom senso comum. É verdade que existe uma queixa crescente, por parte dos professores, de que a motivação dos alunos para a Ciência está decaindo progressivamente, mas isto é visto mais como uma calamidade natural contra a qual é preciso resistir até que passe. Não é da responsabilidade do professor a motivação dos alunos e seu rendimento: se ele tiver o "dom" de se entusiasmar, tanto melhor, porém isso não constitui exigência profissional.

De qualquer forma, para o professor de segundo grau o currículo da Licenciatura prevê disciplinas pedagógicas que "sem dúvida" são mais do que suficientes para introduzi-lo no assunto. Se e quando o professor encontrar situações patológicas, será sua obrigação aprofundar estes conhecimentos, inclusive com a ajuda

de especialistas.

Finalmente, um quarto pressuposto se refere às relações institucionais que caracterizam o ensino das Ciências Exatas.

O primeiro tipo diz respeito às relações pedagógicas, cujo núcleo central é dado pela relação professor-aluno, ao passo que as relações entre alunos são consideradas periféricas.

A relação professor-alunos pode assumir uma forma mais burocrática, sobretudo no segundo grau, quando o grande problema do docente é dominar a disciplina da classe, propondo continuamente atividades que mantenham os alunos ocupados; ela pode também assumir uma forma mais sofisticada, sobretudo no ensino superior, no qual muitas vezes se assemelha profundamente à "iniciação religiosa"<sup>[3]</sup>.

De fato, com o conteúdo dado por fórmulas complexas e com o domínio das condições de aplicabilidade reservado ao professor, o aluno não resiste a tentar esquecer seu passado de conhecimentos e se entregar com confiança às mãos de seu mestre, que está bem mais em contato (sobretudo quando pesquisador) com o "saber misterioso", objeto da aspiração de todos.

Assim sendo, todas as decisões sobre ensino (programação, texto, conteúdo, exercícios, avaliações, ritmo de trabalho) são tomadas pelo professor, que é o único que conhece o caminho e a meta; afinal, a diferença entre quem sabe e quem não sabe é qualitativa.

A relação entre alunos é considerada secundária, ape

---

[3] Uma descrição detalhada das relações pedagógicas entre professores e alunos está em: Kishinami, 1982.

sar de ser muitas vezes incentivada pelo seu papel reforçador e estimulador. Sua importância refere-se fundamentalmente ao aspecto emocional e motivacional, e bem pouco ao crescimento intelectual. O motor do crescimento intelectual só pode ser o professor, pois ele é o único capaz de transmitir conhecimentos: apenas reunindo várias pessoas que não sabem Física, não se obtém uma visão correta da natureza.

Uma consequência imediata deste pressuposto é que, no ensino, a aprendizagem se dá apenas a nível do aluno: não há um aumento de conhecimento por parte do professor, para o qual a única novidade pode advir somente dos erros dos alunos, os quais, além de tudo, na maioria das vezes são repetitivos.

O segundo tipo de relação institucional diz respeito ao ensino das várias disciplinas. O problema surge porque o objeto do ensino de Ciência se refere a fenômenos ou a situações complexas, analisadas em diferentes disciplinas escolares. A solução do problema se dá mediante sua simplificação. O mais comum é ignorar a complexidade e a articulação do objeto de estudo e refugiar-se nas seguranças das disciplinas, de seus métodos e de seus enfoques. A tarefa da articulação e da síntese é deixada totalmente a cargo do aluno: afinal, juntar os elementos aprendidos nas várias disciplinas é somente questão de paciência e de memória. Entretanto, quem discorda desse procedimento por acreditar que a articulação da análise deve ser tarefa da Escola, simplifica o problema ignorando as disciplinas, seus métodos, pressupostos e enfoques e ensinando mediante projetos que se referem à situações complexas. É o ensino para a vida, mais concreto, interessante e útil: é o ensino para o qual preparam as licenciaturas de curta duração. O resultado de tal ensino, em termos de

profundidade, de herança cultural e de visão de Ciência, é fácil de imaginar: é a síntese sem a análise, sem os métodos de análise e os pressupostos da análise. É o ensino "divulgação científica".

O terceiro tipo de relação institucional diz respeito à relação entre pesquisador e docente. O ensino trata de um conteúdo produzido pelos cientistas e bem guardado nos livros didáticos, e não da produção do conhecimento. Por isso, a atividade de docente tem pouco a ver com a atividade de pesquisa. Até certo ponto elas parecem incompatíveis: para pesquisar é preciso ter intuições, às vezes vagas, perseguir idéias abertas, ir e voltar quase sem rumo, explorar imagens, viver com dúvidas; para ensinar precisa-se conhecer o "pacote" de forma clara e fechada, expor as idéias de maneira ordenada, completa e, sobretudo, tirar as dúvidas dos alunos. Isso significa que a comunidade docente e a comunidade que pesquisa são diferentes, têm valores diferentes, critérios diferentes e que às vezes entram em conflito, apesar de serem compostas das mesmas pessoas (pelo menos nas Universidades). Evidentemente, nestes conflitos os interesses mais vivos prevalecem.

Finalmente, o quarto tipo de relação institucional diz respeito à função social (ideológica e política) do ensino de Ciência. Na visão espontânea, ensinar Ciência é um dever da sociedade, que tem a missão de promover e difundir os conhecimentos mais verdadeiros para seus cidadãos, sobretudo os que estão em formação intelectual; por princípio, a execução desta tarefa deve ser isenta, isto é, neutra em relação às várias ideologias e lutas sociais, visando unicamente o crescimento intelectual dos estudantes. Entretanto, é evidente que o sucesso escolar tem for

tes conseqüências sociais e também é evidente, pelo menos no Brasil, que o sucesso ou insucesso escolar não é problema unicamente intelectual. Mais do que isso, o sucesso ou insucesso do ensino de Ciência tem fortes conseqüências sociais e políticas: significa ter uma população com uma ou outra mentalidade e uma visão de mundo e com um ou outro tipo de valores.

## 2. CONCLUSÕES

Este quadro de pressupostos se apresenta como algo de orgânico e articulado: podemos resumi-lo em poucas linhas, nas quais as imagens fundamentais que caracterizam a visão de ensino atual se completam e se reforçam mutuamente.

A mente dos alunos é uma "tabula rasa" (em Ciência) que deve ser preenchida; aprender é "gravar" nela "olhando" atentamente para o professor e se exercitando nos exercícios propostos, e realizando avaliações que definem o essencial a ser aprendido. Ensinar é fornecer, mediante uma exposição clara e ordenada, o conteúdo a ser gravado: um "pacote" amarrado de fórmulas com alguns exercícios nos quais elas funcionam. Neste processo, quem é fundamental e quem dirige é o docente, o único que está perto do saber a ser aprendido. Por suas características, a transmissão do conhecimento científico na escola é marcada por uma neutralidade ideológica, ancorada na neutralidade das várias disciplinas, por um progressivo "peneiramento" do conteúdo produzido pelos pesquisadores, e pelo afastamento de sua maneira de produzi-lo; de fato, a atividade de pesquisa é totalmente diferente da docência e justifica a existência de uma comunidade com valo-

res diferentes e às vezes conflitantes.

Historicamente, essa maneira de ver a aprendizagem e o ensino de Ciência tem raízes muito profundas na separação filosófica entre o conhecer e o conhecimento, entre o processo e o produto, problema continuamente retomado na História da Filosofia e da Ciência Ocidental.

Esta representação não constitui uma teoria explícita sobre ensino e aprendizagem, mas se apresenta como uma visão "espontânea", construída a partir da experiência cotidiana na qual são selecionados e articulados fatos que se tornam exemplares.

Sua característica mais profunda é a absolutização do conhecimento (produto), que é pensado independentemente do conhecer (processo), a absolutização do ensino como atividade unidirecional de transmissão do conhecimento e a separação do ensino do contexto social. O ensino é pensado com categorias causais absolutas: o ensino é causa da aprendizagem (supondo algumas condições prévias) e não um aspecto de uma interação na qual se dá o avanço do conhecimento e o estabelecimento de uma relação social. A frase que melhor representa esta visão é conhecida: - O professor ensinou com todo o esforço e boa vontade, mas infelizmente os alunos não aprenderam. - Esta sentença na qual a causa é separada do efeito, mostra o ensino como uma atividade independente, absoluta e não-relativa, que se constitui na base da visão de ensino cujos pressupostos procuramos esclarecer.

Existem outras razões pelas quais somos induzidos a pensar que a visão de ensino apresentada é muito coerente e resistente às mudanças. Basta observarmos as soluções propostas para melhorar a situação de ensino no Brasil: por trás delas apare

ce a mesma concepção. Se ensinar e aprender é um processo de progressiva filtragem e se o conteúdo é um "pacote" de fórmulas e exercícios, nada mais apropriado do que aumentar o conteúdo, ou aumentar a motivação dos alunos e sua capacidade de retenção. A introdução de aulas de demonstração, de exercícios resolvidos ou de situações experimentais visa fundamentalmente ampliar ou complementar o conteúdo ensinado. A modificação nos métodos de ensino utilizados, para torná-los mais agradáveis ou mais estimulantes, e a modificação nos exemplos introduzidos, tornando-os mais ligados à experiência diária do aluno, visam fundamentalmente motivar os alunos para que estudem mais e aprendam mais facilmente o conteúdo apresentado.

As próprias tentativas de introduzir métodos novos que tornem o aluno mais ativo e mais participante, ou conteúdos novos mais abertos, esbarram, antes ou depois, com a exigência fundamental da comunidade: os alunos aprenderam a aplicar melhor as fórmulas e a resolver mais rapidamente os exercícios? A própria literatura de pesquisa está cheia de comparações entre a "eficiência" do método tradicional (controle) e do método proposto (experimental). Provavelmente, o método tradicional é o mais simples, "econômico" e organizado para conseguir os resultados de uma aprendizagem "rotineira": por isso ele é tão largamente utilizado e tão dificilmente substituível.

Os próprios pesquisadores e docentes que com grandes esforços e dedicação conseguem resultados de aprendizagem diferentes, não facilmente mensuráveis pelas provas tradicionais, depois de um certo tempo, desistem: provavelmente, não têm consciência de que uma mudança estável na prática de ensino de Ciência só poderá ser obtida reestudando todos os pressupostos e modifi-

cando todos os elementos da prática tradicional e que, portanto, este trabalho deverá ser coordenado num projeto abrangente realizável em etapas sucessivas.

Nos próximos capítulos, tentaremos mostrar que existem dados científicos suficientes não somente para questionarmos esta visão de ensino, como também para propormos diretrizes diferentes, baseadas em pressupostos diferentes.

#### BIBLIOGRAFIA CITADA

- Kishinami, R.I., "Análise das Relações Institucionais num Curso Básico de Física", Dissertação de Mestrado, IFUSP-FEUSP, 1982.
- Villani, A., "Reflexões sobre o Ensino de Física no Brasil: Práticas, Conteúdos e Pressupostos", Rev. Ens. Fís. 6(2) (1984) pp. 76-96 .



## II. FÍSICA E CIÊNCIA: OS ELEMENTOS BÁSICOS

No capítulo anterior, mostramos que a prática comum do ensino de Ciência focaliza principalmente as fórmulas matemáticas, que expressam as leis da natureza, e os exemplos significativos, que mostram a "validade" das leis ensinadas. Analisando mais detalhadamente textos didáticos e entrevistando professores e estudantes, é possível especificar a idéia de Física e de Ciência que sustenta tal prática.

Resumidamente, podemos dizer o seguinte.

Partindo de observações, medidas e experimentos sempre mais precisos, os cientistas são capazes de encontrar e descobrir as leis gerais da natureza que constituem a base do trabalho de sistematização teórica e de aplicação. Em particular, as leis físicas, que são expressas matematicamente mediante fórmulas precisas, de um lado são unificadas, comparadas, simplificadas e axiomatizadas para se tornarem teorias mais abrangentes e, do outro lado, são desenvolvidas e aplicadas a situações particulares novas e/ou diferentes.

O sucesso da Física é evidente: ela encontrou o caminho certo e, provavelmente, deveria servir de modelo para outras disciplinas que quisessem atingir um nível correspondente.

Os segredos deste sucesso, que se constitui num progresso praticamente contínuo, são simples: a experimentação sempre mais cuidadosa e precisa, que permite um rigor maior na des-

coberta das leis com o abandono sistemático das idéias metafísicas e das hipóteses inverificáveis ou não confirmadas e, finalmente, a linguagem matemática, que permite previsões precisas e detalhadas utilizando o rigor lógico nela embutido.

É verdade que durante os séculos passados houve erros, mas isto foi devido às inevitáveis falhas humanas e não ao método: às vezes, experiências não muito precisas foram generalizadas incorretamente, às vezes cientistas apressados tiraram conclusões com pouca base científica, às vezes pseudo-cientistas inventaram entidades metafísicas não-comprovadas para explicarem seus dados, mas devido ao próprio método, sempre existiram outros cientistas mais cuidadosos que refizeram as experiências com maior precisão, ampliaram os casos estudados para obter generalizações mais adequadas, eliminaram as entidades metafísicas não-comprovadas. No próprio método está a garantia de continuidade da atividade científica e do seu progresso rumo ao conhecimento e controle total da natureza.

Partindo desta imagem, quem poderia contestar a persistência, em todos os níveis de ensino, da aprendizagem das leis gerais com os casos especiais, de onde elas foram descobertas, e com os casos exemplares, nos quais são aplicadas com sucesso? Quem poderia contestar a insistência na manipulação matemática, que constitui um dos pilares de seu sucesso? Quem poderia propor um apelo contínuo à história das idéias em Física, se ela é tão cheia de erros e de concepções pseudo-científicas? De outro lado, como deixar de enaltecer as grandes façanhas científicas e exemplares, como as generalizações de Newton e de Einstein ou os experimentos de Michelson, Rutherford, etc.?

Esta visão da Física e de suas relações com as outras

Ciências não representam a pesquisa científica de fato realizada ao longo de sua história, nem os resultados por ela conseguidos; neste capítulo e no próximo, amparando-nos na reflexão histórica e filosófica desenvolvida principalmente nas últimas décadas, mostraremos que esta visão é simplista e distorcida. Paralelamente, forneceremos uma base mais adequada para repensar o ensino de Ciência e seu conteúdo e para propor um currículo de Licenciatura mais compatível com as exigências de uma difusão cultural e científica mais crítica.

Nosso trabalho abordará dois aspectos: o primeiro se refere à pesquisa científica com particular ênfase na Física, do ponto de vista de seus elementos ou componentes; o segundo se refere à pesquisa científica como um todo, do ponto de vista de sua gênese e desenvolvimento histórico. Dito em outras palavras, neste capítulo discutiremos alguns de seus elementos "essenciais" e, no próximo, seu "dinamismo" histórico.

### 1. QUESTIONANDO UMA IMAGEM

Na imagem comum de Ciência que acabamos de descrever, os elementos básicos que a sustentam são: a independência da experimentação, a potencialidade indutiva para generalizações corretas, a eliminação de entidades não-"comprovadas", a construção lógica e precisa da matemática. Nosso esforço neste item será no sentido de questionar o alcance e a representatividade desses elementos, mostrando que existe uma relação intrínseca entre experimentação e teoria, ligada à impossibilidade de utilizar a indução como método científico por excelência e de eliminar os pressupos

tos metafísicos e as entidades não observáveis; neste contexto, será relativamente fácil perceber que o papel da matemática ultrapassa o da tradução fiel dos conteúdos científicos da experiência.

### 1.1. Teoria e Experimentação

O primeiro elemento a ser questionado é a idéia de uma experimentação científica independente dos preconceitos dos observadores e experimentadores e de suas visões de mundo, idéia muito difundida, sobretudo no final do século passado; ela era a base necessária para uma Ciência objetiva, correspondente à realidade física pois, com sua independência, ela podia garantir o ponto de partida e o ponto de chegada das teorias. Frente aos dados objetivos, todas as discussões deveriam cessar, pois a natureza falaria mais alto.

Entretanto, atualmente é muito difícil sustentar que a observação e a experimentação científica são independentes da teoria, pois: o problema experimental normalmente é gerado e seus resultados interpretados num contexto teórico, o planejamento das experiências e a tradução dos sinais dos instrumentos em enunciados de observação supõem a mediação de convicções teóricas, e o próprio avanço da experimentação depende do sucesso das aplicações teóricas na tecnologia. Vejamos mais detalhadamente.

A) O problema experimental a ser resolvido sempre surge num contexto teórico: trata-se de medir ou observar determinadas variáveis ou grandezas físicas definidas significativamente dentro de uma determinada teoria. E as correlações assumem uma

importância científica somente quando se referem a grandezas significativas; mudando de contexto teórico, resultados experimentais às vezes perdem sua importância (Hanson, 1958). Por exemplo, dentro da teoria do éter eletromagnético, tinha sentido programar uma experiência que medisse diretamente a velocidade da luz nas várias direções, pois os resultados desta experiência deveriam ser explicados a partir da idéia de uma transmissão no éter; ao contrário, para quem trabalha com a teoria da Relatividade, tal experiência não teria sentido, pois ela suporia uma sincronização prévia dos relógios feita mediante pulsos de luz com velocidade constante em todas as direções.

B) O planejamento da experiência ou da observação visa estabelecer a existência e/ou a freqüência de determinados eventos mediante sinais apropriados em aparelhos apropriados; no entanto, em geral, a ligação entre eventos e sinais deve ser garantida mediante alguma teoria estabelecida. Por exemplo, na meddida bastante simples da vida média do lépton  $\mu$  em repouso, a entrada do  $\mu$  na cela fotomultiplicadora é marcada pela emissão de um pulso de luz e sua "morte" pela emissão de um outro pulso, devido ao decaimento  $\mu^- \rightarrow e^- + \nu + \bar{\nu}$ .

Esta medida tem sentido somente se for considerada suficientemente estabelecida a modalidade do decaimento e eventuais propriedades correlatas (conservações, números quânticos, ..... ) que constituem resultados pertencentes à teoria das "partículas elementares".

C) O avanço nas medidas científicas depende do avanço tecnológico, que por sua vez é baseado no sucesso de alguma teoria: sem os avanços da Eletrônica, da Física dos semi-condutores

res, da Física de Alto Vácuo, com seus respectivos contextos teóricos, seria impensável a grande maioria dos experimentos modernos. E a aceitação, por parte da comunidade, da relevância e da eficácia dos instrumentos, envolve alguma forma de aceitação das correspondentes teorias. Por exemplo, a briga entre Galileu e os aristotélicos da Renascença sobre a possibilidade do movimento das luas de Júpiter pode ser entendida como uma divergência na interpretação de sinais num instrumento (o telescópio recém-inventado) (Feyerabend, 1977). De fato, a interpretação dos sinais no telescópio como representação da existência e do movimento das luas de Júpiter, supunha a confiança na capacidade do telescópio de aproximar a visão dos planetas, o que, por sua vez, se assentava em alguma teoria sobre a óptica das lentes.

D) A tradução de determinados sinais em "enunciados de observação", significativos para o progresso científico, envolve normalmente caminhos indiretos mais ou menos longos sustentados por convicções teóricas; como no planejamento dos experimentos, também na decodificação dos sinais o significado destes e, por conseqüência, sua relevância, geralmente se dá num contexto teórico e com pressupostos teóricos: um exemplo significativo é dado pelos modernos experimentos de Física de Partículas, nos quais se procuram "decaimentos" raros que possam confirmar ou rejeitar regras de seleção e tipos de conservação; o evento experimental "a partícula X decaiu em Y e Z" somente pode ser enunciado após longas discussões teóricas e experimentais com as quais se estabeleceu que um determinado traço numa fotografia "certamente" é de X, que outros traços correspondem à passagem de Y e Z, e que "certamente" existe alguma continuidade entre os três tipos de traços.

E) A interpretação e, portanto, o valor científico de uma observação ou de um experimento somente podem ser definidos a partir de uma teoria mais ou menos articulada. Por isso, frente a um mesmo experimento, as reações dos cientistas podem ser diferentes. Os traços nas chapas fotográficas de Beckerel despertaram sua atenção porque ele estava interessado na emissão de raios por parte de substâncias particulares. Para ele, era interessante uma ligação entre os raios que velaram as chapas e possíveis raios emitidos pelas substâncias em exame. Decaimentos especiais são importantes se puderem ser associados a simetrias ou a quebra de simetrias. Um caso interessante é o da medida do deslocamento para o vermelho num campo gravitacional; não somente ele foi contestado como resultado experimental por um período de tempo longo, sendo os partidários da teoria de Einstein a favor e outros contra, mas também após seu estabelecimento ele foi interpretado como prova da validade da teoria de Einstein por alguns, prova contra a validade dela por outros, e para outros ainda prova indiferente (Earman, 1980). Uma situação análoga se verificou com a medida da razão  $M_l/M_t$  (massa longitudinal/massa transversal) de elétrons velozes. A primeira medida foi considerada favorável à teoria de Abraham e contra a de Lorentz, a segunda favorável à teoria de Lorentz, as seguintes de uma interpretação duvidosa e finalmente as últimas, mais precisas, como insignificantes para o confronto, pois ambas as teorias tinham sido abandonadas (McCormack, 1971).

## 1.2. Indução e Método Científico

O segundo elemento que chama a nossa atenção na visão comum da Física e da Ciência é a gênese indutiva das leis gerais: uma experimentação rigorosa e metódica gera conhecimentos universalmente válidos que, por sua vez, constituem uma das bases da confiança no método científico.

Esta idéia é partilhada por movimentos filosóficos; no começo do século o indutivismo, que dominava na reflexão epistemológica, assumia explicitamente essa visão e tentava justificá-la.

Para quem aceita o indutivismo, existem somente dois tipos de resultados científicos: o estabelecimento rigoroso de proposições factuais e a generalização genuinamente indutiva. O que não está de acordo com estes parâmetros pertence à pré-história científica ou à pseudo-ciência, e tem sua explicação nas influências externas que perturbam o rigor e o poder da análise científica. A Ciência verdadeira só permite a interferência da história externa (social ou cultural) na seleção dos problemas a serem resolvidos ou dos fatos a serem analisados cientificamente. Fora disto, a metodologia indutiva assume um controle rigoroso das ações dos cientistas.

Esta visão tem dois problemas: um lógico e o outro histórico.

O problema lógico foi bem colocado por Hume: como é possível garantir que a análise de um número finito de casos nos leve a uma lei universal válida para todos os casos? O que nos assegura que o passado e o futuro serão iguais?

Estas dúvidas deixaram vários cientistas defensores



da indução perplexos e estimularam a procura de critérios de justificação (Hegenberg, 1976) para a pretensão da Ciência atingir (ou pelo menos tentar) verdades universais. Alguns resolveram o problema negando sua existência. Para eles, a indução seria uma maneira de conhecer e de agir do homem, enraizada em sua estrutura mental e portanto não-passível de redução a razões lógicas e de justificativas. A indução existe e pode ser boa ou não, dependendo dos sujeitos que a operam serem suficientemente inteligentes ou não. Certamente existem regras implícitas para uma boa indução: a Ciência é feita utilizando estas regras, mesmo que sua explicitação apresente dificuldades. Se quisermos tentar uma justificativa, basta apelar para a própria intuição; é evidente que o método indutivo é bom e a prática cotidiana da vida, e mais ainda da Ciência, nos atesta sua validade.

Outros tentaram uma justificativa global de tipo indutivo: a indução é um método bom para a Ciência, pois ela o utilizou com sucesso no passado: na grande maioria dos casos, previsões bem sucedidas confirmaram as inferências indutivas, e não existem razões para que isso não se repita no futuro. O círculo vicioso parece evidente.

Outros ainda adotaram uma posição mais pragmática e mais reservada. Se existirem leis universais na natureza, a indução é o método correto para descobri-las. O emprego sistemático da indução, mesmo que falhe neste ou naquele caso, é o único que pode levar com razoável esperança às leis universais: é sem dúvida o método melhor, pois ele se auto-corrige a longo prazo. Posições menos exigentes aceitam a possibilidade de outros métodos não-indutivos como igualmente válidos sob o aspecto de orientação na pesquisa. De qualquer maneira, resta ainda o problema

de que, a curto prazo é difícil aceitar que a indução seja satisfatória, isto é, que seja capaz de proporcionar um conhecimento mais amplo (universal e verdadeiro) do que os casos analisados.

O problema histórico do indutivismo é sua falha na explicação da maioria dos fatos apurados. Esta visão epistemológica não consegue explicar (Lakatos, 1973) por que a maioria das generalizações importantes não saíram de uma análise exaustiva dos exemplos possíveis, por que os cientistas tendem a generalizar após poucos exemplos, por que influências externas sócio-culturais têm um papel importante na determinação e na aceitação de leis teóricas; sobretudo, não consegue explicar por que os cientistas não abandonaram as teorias frente a contra-exemplos ou anomalias.

O caso do experimento de Michelson-Morley é interessante: ele não constitui a base empírica para o princípio de invariância da velocidade da luz, como costumam sugerir os livros-textos (Holton, 1969), mas constitui uma anomalia para a teoria do éter de Lorentz: este o enfrentou não abandonando sua teoria, mas reformulando suas idéias sobre o comportamento das forças moleculares. O princípio da invariância da velocidade da luz foi formulado mais tarde por Einstein a partir de outras evidências, principalmente de caráter teórico (McCormack, 1971).

Se a tese indutiva é bastante dúbia, então quem garante a validade universal da Ciência? As respostas do falsificacionismo e do convencionalismo apontam para o método científico.

K. Popper, o fundador do falsificacionismo, concede à indução sua capacidade de gerar hipóteses ou idéias gerais, mas considera o método científico bem mais amplo; ele consiste em in

ventar hipóteses teóricas que sejam compatíveis com os dados empíricos, e depois tentar derrubar sistematicamente estas mesmas hipóteses com outros experimentos que desafiem suas previsões (Popper, 1963).

Muitas e diversas podem ser as sugestões de hipóteses, desde generalizações imediatas, como na indução, até analogias com resultados em outras áreas, mesmo que distantes; o valor delas é sempre o mesmo, trata-se de idéias que deverão ser testadas nas suas conseqüências previsíveis. Maior a possibilidade de testar as idéias, melhores elas serão do ponto de vista científico. Se elas resistirem aos testes, elas se dirão corroboradas; elas terão valor científico até que seja possível deduzir novas previsões a serem testadas. Se elas não resistirem aos testes, elas serão abandonadas e substituídas por outras, num processo contínuo e sempre mais rigoroso. Nunca elas representarão a verdade positivamente: entretanto, haverá uma aproximação da verdade pelo lado negativo, eliminando sistematicamente tudo aquilo que não pode representá-la integralmente.

Apesar da contribuição notável em libertar, ao menos em parte, a criação científica das amarras dos dados experimentais, a metodologia de Popper sofreu várias críticas (Lakatos, 1972).

A primeira crítica se refere à limitação imposta à Ciência no sentido de que ela somente pode admitir teorias e hipóteses que possam gerar previsões experimentalmente falsificáveis; teorias sem esta conotação não são científicas; portanto, as grandes conquistas da Ciência são somente os experimentos cruciais que conseguiram derrubar teorias estabelecidas.

A segunda crítica é de caráter histórico: a tese do

falsificacionismo científico não consegue explicar por que no passado e no presente quase nunca aconteceu de existirem teorias isentas de anomalias, e que nem assim foram abandonadas. Dentro do esquema popperiano, uma teoria rejeitada é falsa e deve ser abandonada; por conseguinte, dentro deste esquema, a comunidade científica se comporta de maneira anti-científica, na grande maioria dos casos.

O terceiro defeito apontado na tese falsificacionista é seu caráter negativo: a Ciência avança derrubando teorias, e não confirmando-as. Entretanto, os cientistas costumam considerar os experimentos mais significativos como confirmações. Assim, Hertz e a comunidade científica interpretaram seu experimento como confirmação da teoria de Maxwell e da corrente de deslocamento e Eddington interpretou o encurvamento dos raios luminosos durante a eclipse como prova da validade da teoria da Relatividade Geral; geralmente os cientistas inventam experimentos mais para confirmar hipóteses teóricas e ampliar seu campo de validade do que para derrubá-las.

Finalmente, uma quarta crítica à tese de Popper se refere ao fato de privilegiar a Matemática como instrumento de formalização e expressão das leis científicas, devido à possibilidade de deduzir conseqüências e previsões quantitativas precisas. Este ideal científico automaticamente exclui as Ciências mais interpretativas, como as Ciências Humanas ou, pior ainda, sugere que elas assumam o mesmo padrão e a mesma estrutura da Física.

O convencionalismo, defendido no começo do século por Poincarè e, sobretudo, por Duhem (1914), admite que a Ciência constrói sistemas que organizam os fatos num conjunto coerente e procura manter estas organizações tanto quanto possível, modifi-

cando preferencialmente elementos periféricos ou pelo menos não centrais, quando aparecem anomalias. Entretanto estes sistemas não representam uma verdade maior do que os fatos e as observações que eles sintetizam e organizam. Por conseguinte, estes sistemas são "verdadeiros por convenção", quase simbolicamente, por terem capacidade de resumir. Quando estes sistemas, as teorias, se tornam muito complicados pelas modificações sofridas, são abandonados em favor de outros rearranjos mais simples.

O progresso científico, então, é de dois tipos: a nível dos fatos há uma verdadeira acumulação de conhecimentos, constituídos pelos fatos científicos provados; a nível das teorias acontecem revoluções sistemáticas e se dá um progresso instrumental, aumentando a simplicidade da organização.

O convencionalismo não exige muito rigor nas generalizações, pois suas funções são instrumentais e não exclui os sistemas não-provados ou com anomalias, incentivando as reformulações menores. Elogia principalmente as grandes revoluções por marcarem a Ciência mediante simplificações sucessivas. Interpreta a revolução Copernicana como um exemplo claro de simplificação e substituição do complicado mundo Ptolomaico. Também interpreta a teoria da Relatividade como uma simplificação da pesada teoria do Éter.

Contudo, também o convencionalismo é objeto de críticas (Lakatos, 1973).

Em primeiro lugar, não consegue incorporar como racional a escolha de sistemas organizativos quando o conteúdo factual é pequeno (as hipóteses a partir de poucos casos), ou quando a capacidade de simplificação e organização é limitada. No primeiro caso, seria inútil simplificar aquilo que já é simples

e, no segundo, a própria teoria seria inútil, pois ela não simplificariria ou, pelo menos, seria muito complicada. Também se torna inviável a substituição de um esquema simples por um mais complicado.

Em segundo lugar, os convencionalistas costumam desprezar a interpretação comum dos cientistas, que inventam teorias e pretendem que elas representem um avanço na compreensão dos fenômenos, não somente a nível de simplificação.

Em terceiro lugar, existem confirmações estrondosas das teorias, fora da problemática experimental e do contexto factual que as gerou, que deixam perplexos os próprios convencionalistas; Duhem, não sem uma ponta de dúvida, classificava estas situações como "felizes coincidências". Exemplos famosos são a transformação energia-massa na fissão e fusão dos átomos e na criação e transformação das partículas como confirmações da Teoria da Relatividade de Einstein e a descoberta do pósitron como confirmação da equação de Dirac.

Todas estas visões filosóficas - indutivismo, falsificacionismo e convencionalismo - têm em comum um ideal científico: a aproximação da Verdade; entretanto, as visões mais modernas atribuem à Ciência um significado mais pragmático, o de construir modelos capazes de resolver problemas empíricos e teóricos de maneira significativamente crescente.

Veremos em seguida mais detalhes a respeito, contentando-nos, por enquanto, em abalar as bases da visão "espontânea" de Ciência.

### 1.3. A Ciência e os Inobserváveis

Um terceiro elemento de grande importância para a vi são comum de Ciência é seu afastamento sistemático das idéias me tafísicas e das quantidades inobserváveis. É verdade que existe uma tendência, entre os cientistas, de criar entes fictícios, que às vezes parecem necessários para explicar satisfatoriamente os resultados experimentais; porém, graças ao método científico rigoroso, estas entidades são sistematicamente detectadas e ques tionadas. Nesta visão, o experimento de Michelson-Morley mostrou que a Terra não possuía nenhuma velocidade em relação ao éter, enquanto o experimento de Fizeau e a observação das estrelas in diretamente mostraram o contrário; por isso, Einstein resolveu os problemas eliminando o éter, que não tinha nenhuma evidê ncia experimental e, portanto, constituía uma extrapolação metafísica a partir da idéia de que a luz precisa de um meio físico no qual vibrar e se propagar. Esta visão, comum nos meios científicos, tem respaldo em correntes epistemológicas como o indutivismo, o falsificacionismo e sobretudo o empirismo lógico, que procuram re fletir, analisar e interpretar a história da Ciência como proce so de progressiva purificação de pseudo-conceitos. Para o indu tivismo, o avanço científico vem das experiências comprovadas e das generalizações genuinamente indutivas, e pouco então se pode rá esperar da invenção de entidade que não constituam genera lizações diretas da experiência.

Uma posição menos radical é a do falsificacionismo: na da impede fazer conjecturas acerca de objetos inobserváveis como, por exemplo, os átomos ou as partículas elementares, se for respeitada a regra de que, a partir dessas conjecturas, se façam

previsões experimentalmente verificáveis. O que é terminantemente proibido à Ciência é inventar hipóteses que não levem a uma possível falsificação maior, ou inventar entidades que poderão ser preservadas qualquer que seja o resultado da observação. É famosa a crítica de Popper à psicanálise e aos seus conceitos básicos inobserváveis, que podem explicar qualquer tipo de comportamento.

A posição mais radical em relação aos inobserváveis é sustentada pelo positivismo lógico, cujos representantes mais importantes deram impulso ao famoso Círculo de Viena (Heggenberg, 1976) e pelo operacionalismo, sustentado principalmente por Bridgan (Losee, 1979).

Sua finalidade é a unificação da Ciência mediante a aplicação do método de análise lógica das proposições, com o qual é possível definir com precisão crescente o significado de conceitos e sentenças científicas; isso se dá revelando o conteúdo imediatamente observável das teorias através da especificação do método pelo qual ele poderá ser observado.

Evidentemente, as asserções que tratam de entidades além do alcance da experiência, são consideradas como cientificamente destituídas de significado.

Com a utilização sistemática deste procedimento, chamado também de princípio de verificação, não somente a Ciência poderá ser depurada daquilo que é inconveniente, mas também poderá assumir uma formulação mais compacta e mais sintética.

As teorias científicas maduras serão constituídas por um conjunto de axiomas definidos a partir de um vocabulário lógico-matemático e de um vocabulário teórico. O vocabulário teórico, por sua vez, será definido explicitamente ou redutivamente



em termos de vocabulário observacional, cujos termos se referem diretamente a objetos físicos ou a propriedades diretamente observáveis. A partir dos axiomas, serão deduzidas as leis que poderão ser traduzidas em explicações pertinentes.

Com este controle rigoroso, apesar da Ciência poder-se constituir progressivamente de princípios mais abstratos e gerais, ela nunca perderá a sua ligação com a experiência empírica.

Uma posição mais neutra em relação aos inobserváveis é tomada pelos convencionalistas, devido a sua caracterização do conteúdo teórico: se ele é convencional, então não faz diferença nenhuma ter uma relação direta ou não com a experiência.

Nada impede de introduzir, nas sínteses que organizam os dados experimentais, entidades que simplifiquem a expressão da teoria, mesmo que elas sejam inobserváveis de fato ou de princípio; estas entidades e as sínteses que elas compõem não acrescentam conhecimento científico aos dados experimentais.

Para as correntes epistemológicas mais modernas, estas posições são insustentáveis do ponto de vista metodológico e histórico.

Do ponto de vista metodológico, a distinção entre observável e não-observável não é evidente, varia de uma teoria para outra e sobretudo de uma época para outra (Maxwell, 1962); por isso, é uma atitude errada pretender eliminar sistematicamente o inobservável, pois, em princípio, pode se tornar um observável, altamente significativo do ponto de vista científico. Antes da invenção do microscópio, os micróbios eram inobserváveis; contudo, eles poderiam ter sido inventados teoricamente como portadores de determinadas doenças, a partir de uma análise detalhada do processo de transmissão das mesmas. O caso das moléculas é aná-

logo: elas são muito pequenas para serem observadas e, portanto, são inobserváveis; entretanto, existem algumas delas bastante complexas, que atingem tamanhos consideráveis e, portanto, entram no reino da observação. Teria sentido eliminar as moléculas pequenas como anti-científicas e aceitar as grandes como cientificamente relevantes? O caso dos elétrons é mais complexo: eles são, em princípio, inobserváveis por causa do princípio de indeterminação de Heisenberg. No entanto, ninguém sabe se não será possível, no futuro, superar de alguma maneira esta limitação.

E para as entidades inobserváveis por princípio? Os quarks, por exemplo, parecem não poder existir de maneira livre, mas somente confinados, como componentes das partículas elementares. O éter também, pelo menos no começo deste século, era considerado não-detectável por causa da deformação dos instrumentos científicos em movimento uniforme. Mesmo nestes casos, a utilização de entidades não-observáveis é considerada cientificamente legítima pelo poder unificante que elas carregam. Os quarks conseguem unificar uma série de fenômenos (formação de partículas) e de resultados teóricos (regras de seleção, números quânticos) de outra forma totalmente desconexos. O éter conseguia dar sentido único a todos os fenômenos ópticos e electromagnéticos, inclusive à quebra de postulados da Mecânica (3ª lei de Newton).

As análises históricas mais recentes têm enfrentado o problema de maneira espetacular, com uma inversão de posições: não somente algumas teorias admitem tais entidades, mas sua presença é praticamente obrigatória. O "Paradigma" de Kuhn (1962), o "Núcleo Sólido" de Lakatos (1972), os componentes básicos das Tradições de Pesquisa (Laudan, 1977) são constituídos de um conjunto de elementos que, por opção, não podem ter uma ligação di-

reta com a experiência, e portanto são indetectáveis, inquestionáveis e inverificáveis. Naturalmente, cada teoria ou cada programa de pesquisa tem seu próprio conjunto e não necessariamente eles coincidem. Por exemplo, na teoria de Einstein, o Princípio da Relatividade é inquestionável, pois ele serve para distinguir leis científicas: uma lei que não é invariante relativisticamente, não é lei física. Não podem existir leis não invariantes e nunca serão encontradas, pelo menos dentro do paradigma relativístico. Ao contrário, na teoria do éter a invariância das leis é um dado empírico, assim como a invariância da velocidade da luz; ambos deverão ser explicados utilizando outras entidades ou princípios teóricos mais fundamentais, como o éter e sua relação com a carga elétrica.

Esta posição poderá ser considerada como semelhante à do convencionalismo, mas de fato, existe uma profunda diferença entre elas. Os paradigmas e os núcleos sólidos são indetectáveis, não porque tenham valor somente convencional e não-explicativo, mas porque sua relação com a experiência deve ser mediada com uma série de outros elementos adicionais e suplementares. E, quando as experiências não confirmam as previsões, a responsabilidade é atribuída aos elementos adicionais. Nesta visão, o caráter da não-verificabilidade é obrigatório, e é condição necessária para podermos ter programas ou paradigmas resistentes às mudanças rápidas. No entanto, eles não são totalmente inverificáveis e, por isso, a longo prazo, podem se tornar insustentáveis. Para tanto, basta que o número de anomalias e sua profundidade cresçam acima do suportável, ou que o programa de pesquisa perca seu poder de articular os fatos "novos" que caracterizam o progresso científico.

Finalmente, é possível entender, mediante este esquema, por que, em determinadas circunstâncias, torna-se difícil o diálogo entre teorias diferentes, pois aquilo que para uma é verificável, para outra faz parte do núcleo inverificável e, conseqüentemente, o significado e a interpretação de determinados experimentos são diferentes. Assim, torna-se racional que teorias sobrevivam, mesmo que existam anomalias ainda não explicadas, e que os cientistas não se apavorem quando uma previsão teórica não for verificada: às vezes, uma melhor articulação das hipóteses complementares poderá facilmente mudar a situação. De outro lado, é possível também explicar por que as teorias novas suplantam as existentes quando revelam uma evidente superioridade explicativa, não bastando uma maior simplicidade formal.

É importante notar que aquilo que está em jogo nesta nova visão da Ciência não é a observacionalidade de seus elementos ou entidades, mas sua capacidade "heurística", seu poder de gerar novas conquistas, sejam elas experimentais (prevendo novos resultados experimentais), sejam elas teóricas (incorporando ou unificando explicações antes não correlacionadas). Veremos mais em detalhe estas perspectivas no próximo capítulo, ao explicitarmos positivamente os modelos de desenvolvimento científico.

#### 1.4. A Função da Matemática

Um quarto elemento que caracteriza a idéia de Ciência Exata e, sobretudo, de Física, implícita na prática de ensino é o papel da Matemática. Ela é considerada a linguagem privilegiada por três razões: por sua capacidade de expressar o conteúdo essencial dos resultados experimentais e das observações, por seu

rigor lógico que permite repassar sem perdas este conteúdo essencial, podendo aplicá-lo aos diferentes casos experimentais, e por sua precisão, que permite fazer previsões quantitativas e confrontá-las com dados experimentais sempre mais precisos.

Por todas essas razões, o desenvolvimento da Ciência confrontou-se várias vezes com o problema de encontrar um formalismo matemático adequado à natureza de seus dados experimentais. É conhecida a introdução do cálculo matemático infinitesimal de Newton, para poder tratar da velocidade instantânea ou o desenvolvimento das equações diferenciais, para dar conta do programa newtoniano no século XVIII. Também é conhecido o caso de Maxwell, que matematizou com suas equações as descobertas experimentais de Faraday. O fato da Física ter sempre encontrado seu formalismo sistemático adequado seria a prova que este constitui a linguagem que lhe é apropriada.

Uma análise histórica detalhada revela, porém, que a função da Matemática é muito mais importante do que a tradução fiel dos conteúdos da experimentação científica (Zahar, 1973). O caso da Física é altamente demonstrativo.

Uma primeira contribuição da Matemática à Física foi a possibilidade de introduzir uma estrutura adicional não somente nos dados experimentais que, sendo singulares, não podem apresentar continuidade, mas também nas próprias idéias físicas, às vezes mais fracas do que suas expressões matemáticas. O caso de Fresnel é típico: a idéia da luz como fenômeno ondulatório através do éter era mais genérica que sua expressão matemática como função senoidal. Analogamente, a utilização da geometria Riemanniana para expressar as idéias de gravitação de Einstein introduziu implicitamente as condições de metricidade e diferenciabili-

dade das leis físicas, que estavam além dos fatos empíricos conhecidos; de fato, após 1916, outras geometrias não-Riemannianas, puramente afins e portanto não-métricas, foram desenvolvidas para expressar o mesmo conteúdo empírico (Zahar, 1980).

Uma segunda contribuição da Matemática foi a introdução de novas entidades matemáticas que puderam ter uma interpretação física realista anteriormente desconhecida; o caso de Maxwell é o mais conhecido; a coerência matemática de suas equações eletromagnéticas impunha a presença de um termo adicional proporcional a  $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ , cuja interpretação física como corrente de deslocamento abriu a porta para o estudo e a confirmação das ondas eletromagnéticas.

O caso de Dirac é análogo: sua equação relativística admitia soluções com energia negativa, evidentemente não-físicas. No entanto, insistindo em encontrar um significado físico para elas, Dirac previu a nova partícula elementar, o pósitron; a ausência de um elétron no mar indetectável de cargas negativas ( $-e$ ) com energias negativas ( $-E$ ) foi interpretada como a presença de uma nova partícula com carga e energia positiva (Zahar, 1973).

Às vezes o caminho da interpretação física é bastante complicado, como no caso da Relatividade Geral (Zahar, 1980); uma quantidade puramente matemática  $E$ , que aparecia nas equações de campo, quando interpretada fisicamente como energia gravitacional, foi o ponto de partida da modificação das próprias equações do campo, que representavam a expressão da intuição de Einstein sobre o fenômeno gravitacional.

Uma terceira contribuição da Matemática à Física, que modificou profundamente a maneira de interpretar essa última, foi a introdução da linguagem não-linear com sua bagagem de soluções

singulares, estranhas e imprevisíveis, a partir de condições de contorno adequadas. O que é fundamental nas equações não-lineares é a quebra do princípio da superposição, a que não permite deduzir soluções mais complexas a partir das mais simples e, portanto, obriga a olhar para as condições de contorno específicas para obter sugestões de soluções possíveis.

Do ponto de vista físico, isso significa abandonar a idéia de que o comportamento de um fenômeno complexo é previsível a partir do comportamento de seus elementos parciais, individuais; significa, também, olhar para as condições físicas particulares para obter sugestões de comportamento global.

O caso mais simples e mais conhecido é o das "ondas solitárias" que têm propriedades incríveis de estabilidade, sendo capazes de recuperar sua individualização e caracterização após uma interação complexa que destrua essas propriedades: a não-linearidade, que expressa, em geral, uma dinâmica complexa, bem se presta para analisar os fenômenos que anteriormente eram considerados caóticos e, portanto, intratáveis. A idéia de reduzir os fenômenos às propriedades de seus elementos componentes, além de encontrar a barreira da limitação quântica do princípio de indeterminação, que afeta a análise das grandezas observáveis quando estas se tornam muito pequenas, encontrou também a surpresa de uma crescente complexidade ao passar para os níveis inferiores, frustrando as esperanças de uma visão determinista da natureza. A introdução da matemática não-linear abriu espaço para a análise de fenômenos coletivos nos quais a ordem parece surgir da interação entre os elementos na forma de cooperação e auto-organização, na presença de condições externas apropriadas (Zanarini, 1985).

A formação de vórtices temporalmente estáveis no caótico fluir das moléculas de água ou a formação de ondas luminosas, espetacularmente coerentes, na emissão aleatória dos átomos que compõem um laser são exemplos de colaboração estável na presença de condições físicas externas, que constituem sugestões de ordem para os comportamentos, normalmente aleatórios, do grande número de componentes.

É importante notar que não se trata de um comportamento microscópico ordenado, que é média de comportamentos microscópicos desordenados, como os movimentos dos elétrons num metal em presença da diferença de potencial; trata-se de um comportamento microscópico ordenado diferente da média e obtido a partir da influência de auto-organização, em presença de uma ajuda externa particular e, portanto, compatível com a irreversibilidade dos fenômenos físicos e o aumento de entropia.

A Física, portanto, além de procurar analisar a ordem estável dos sistemas atômicos ou nucleares a partir das propriedades de seus componentes, está voltando para fazer hipóteses científicas, por exemplo, sobre a origem do sistema solar, considerado como uma ordem temporária que foi-se organizando a partir de uma situação anterior indiferenciada e caótica.

## 2. CIÊNCIA E PSEUDO-CIÊNCIA

É possível resumir tudo quanto analisado até agora, focalizando a diferença entre Ciência e Pseudo-Ciência nas várias visões filosóficas e na visão implícita no ensino atual.

A idéia intuitiva de Ciência é marcada por sua apro-



ximação da verdade, obtida a partir do rigor do método científico, que a "retira" dos fatos científicos indubitáveis e dos experimentos decisivos. Científico é tudo aquilo que tem sólidas bases experimentais e obedece a critérios de rigor e de objetividade, longe de fantasias ou de hipóteses "aventurosas". Por isto, a Ciência é a maneira sólida e privilegiada de conhecimento humano, e a Física ocupa um lugar de destaque por ter encontrado a sua expressão adequada na Matemática, que constitui a linguagem "espelho" da natureza física. Ao contrário, pseudo-científico é tudo aquilo que carece de qualquer uma dessas propriedades, ou do lado da experimentação, ou da generalização, ou da precisão da linguagem.

Esta visão é em boa parte semelhante à do indutivismo, que privilegia como científico somente o fato experimental comprovado, ou a indução legítima, deixando o resto fora da Ciência ou no reino da pré-ciência. Assim, a visão indutivista considera a Ciência essencialmente acumulativa, quanto aos fatos comprovados independentemente de teorias e as generalizações legítimas a partir deles.

Do lado do falsificacionismo, a Ciência privilegia novamente o fato experimental comprovado, capaz de derrubar as teorias ou as hipóteses científicas. Pseudo-ciência é toda aquela teoria que não consegue ser traduzida numa previsão concreta e que, portanto, não pode ser falsificada diretamente, ou aquela experiência que não consegue distinguir entre teorias e que, portanto, não pode falsificar nenhuma delas. Pseudo-ciência é também não abandonar hipóteses falsas.

Para o positivismo lógico, Ciência é o que pode ser reduzido a um conjunto de axiomas que tem um sentido diretamente

ligado à observação e experimentação. Pseudo-ciência é tudo aquilo que não passou ainda pelo crivo da análise lógica das proposições e pelo princípio de verificação: principalmente as hipóteses metafísicas.

Para o convencionalista, Ciência tem dois significados: a nível de fatos científicos, Ciência é sua acumulação progressiva; a nível de teoria, Ciência é a síntese que consegue simplificar o conteúdo dos fatos numa expressão única ou simples. Pseudo-ciência é o fato não provado cientificamente, ou a hipótese teórica que não introduz simplificações na expressão dos fatos.

Nas visões mais modernas, a diferença entre Ciência e Pseudo-ciência está mais na racionalidade ou não do conjunto das atividades dos cientistas, do que na adequação de cada singular atividade. Dependendo do contexto, generalizar rapidamente, ter dados não muito precisos, inventar hipóteses estranhas ou sem ligações com experimentação, forçar a tradução física de quantidades matemáticas, inventar teorias novas que não tenham previsões novas, não abandonar hipóteses ou teorias que têm anomalias, tudo pode constituir uma legítima atividade científica; quando existe um programa de pesquisa ou uma paradigma, tudo é válido para se lhe abrir espaços. Pseudo-ciência é ficar sempre com um paradigma, sem se preocupar em melhorar sua atuação, nem abrindo novos campos de atuação, nem modificando a teoria para eliminar as anomalias existentes, nem se preocupando com a existência de alternativas que interpretem a realidade de maneira mais convincente (Thagard, 1978).

Como é fácil notar, esta última imagem, por ser mais aberta e ter mais nuances, além de conseguir mais facilmente ra-

cionalizar as condutas concretas dos cientistas atuais e do passado, possui uma menor dose de triunfalismo cientificista, tornando o conhecimento científico mais próximo da realidade humana e mais em interação com o meio social e a cultura do tempo. Retomaremos este ponto no capítulo seguinte.

Isso nos leva a crer que o conteúdo ensinado em nossas escolas, com sua preferência pelo produto formal e pelas aplicações exemplares, longe de representar o fruto dinâmico e rico da investigação científica, nos aparece mais como uma deformação estereotipada, pois parece eliminar tudo que liga o produto científico com a atividade de produzi-lo e com as características e limitações destas atividades. A própria matematização com sua função peculiar na Física é abandonada como atividade criativa, por substituir-lhe a manipulação de seu produto esterilizado. Na Física ensinada em nossas escolas, não existem problemas físicos reais, por isso, a atividade de resolver problemas é reduzida a uma aplicação monótona de esquemas velhos.

Assim, torna-se urgente uma revisão do conteúdo ensinado, sobretudo na formação de professores, que, não exercendo diretamente a atividade de pesquisa, não têm nenhuma oportunidade de enriquecer sua imagem supersimplificada.

Esta revisão deverá necessariamente envolver os elementos que constituíram o cerne da análise desenvolvida neste capítulo: a interdependência entre teoria e experimentação, a complexidade da metodologia científica com a caracterização essencialmente provisória de seus resultados e a utilização quase indispensável de elementos e entidades fundamentalmente heurísticos e, finalmente, a visão ampla e sintética da função da linguagem matemática.

No próximo capítulo, procuraremos aprofundar o caráter histórico da Ciência, na esperança de captar seu dinamismo, seu "progresso" e seu sentido humano mais radical.

#### BIBLIOGRAFIA CITADA

- Duhem, P., "La Theorie Physique, son Objet et sa Structure", Paris, Chevalier et Rivière, 1914.
- Earman, J.; Glymour, C., "The Gravitational Red Shift as Test of General Relativity: History and Analysis", Stud. Hist. Phil. Sc. 11 (1980) pp. 175-214.
- Feyerabend, P., "Against Method", New York, Schocken Books, 1977.
- Hanson, N.R., "Observation", está em "Patterns of Discovery", New York, Cambr. Univ. Press, 1958, pp. 4-19.
- Hegenberg, L., "Etapas da Investigação Científica", vols. I e II, São Paulo, EPU-EDUSP, 1976.
- Holton, G., "Einstein, Michelson and The "Crucial" Experiment", Isis 60 (1969) pp. 133-197.
- Kuhn, T.S., "The Structure of Scientific Revolutions", Chicago University Press, 1962.
- Lakatos, I., "Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes", está em Lakatos and Musgrove (eds.), "Criticism and the Growth of Knowledge", New York, Cambridge Univ. Press, 1972, pp. 91-196.
- Lakatos, I., "History of Science and Its Rational Reconstructions", está em Buck and Cohen (eds.), Boston Studies in the Philosophy of Science, vol. VIII, Dordrecht, Reidel, 1973, pp. 91-136.

- Laudan, L., "Progress and Its Problems", Univ. Coll. Press, Berkeley, 1977.
- Losee, J., "Introdução Histórica à Filosofia da Ciência", EIL-EDUSP, Belo Horizonte, 1979.
- McCormack, R., "H.A. Lorentz and the Electromagnetic View of Nature", *Isis* 61 (1970) pp. 459-497.
- McCormack, R., "Einstein, Lorentz and the Electron Theory", *Historical Studies in Physical Science* 2 (1971) pp. 41-87.
- Maxwell, G., "The Ontological Status of Theoretical Entities", está em Feigl and Maxwell (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. III, Univ. Minn. Press, Minneapolis, 1962, pp. 3-14.
- Popper, K., "Science: Conjectures and Refutations", New York, Harper and Row, 1963.
- Thagard, P.R., "Why Astrology is a Pseudo-science?", *Proceed. Philos. of Science Assoc.*, vol. I, 1978, pp. 223-224.
- Zahar, E., "Why did Einstein's Programme Supersede Lorentz's?", *Brit. Jour. Phil. Sc.* 24 (1973) pp. 95-123.
- Zahar, E., "Einstein, Meyerson and the Role of Mathematics in Physical Discovery", *Brit. Jour. Phil. Sc.* 31 (1980) pp. 1-43.
- Zanarini, G., "L'Emozione di Pensare", CLUP-CLUED, Milano, 1985.

### III. OS MODELOS DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO

No capítulo anterior, analisamos alguns dos elementos essenciais que caracterizam a atividade científica, com uma ênfase particular em Física, contrastando a visão comum implícita no ensino de Ciência com as reflexões e argumentações de várias linhas epistemológicas.

Deixamos para este capítulo a análise dos modelos de desenvolvimento científico, porque, além de podermos resumir de modo orgânico a maioria das idéias apresentadas anteriormente em modelos caracterizáveis com poucas variáveis, poderemos também introduzir explicitamente as contribuições da análise histórica e sociológica da Ciência, com suas considerações mais factuais sobre a maneira efetiva de trabalhar dos cientistas.

É possível fazer uma exposição significativa dos modelos de desenvolvimento científico, caracterizando-os ao longo de dois eixos: o primeiro, que seria o principal, focaliza o papel da história social nas mudanças que a Ciência atravessa, o segundo, que constitui um eixo mais derivado, focaliza a representação da "continuidade" científica. No eixo da história social é representado o confronto entre a pressão "externa" dos acontecimentos e das conjunturas sócio-econômicas e ideológicas sobre a Ciência e a pressão interna da racionalidade e da metodologia específica da Ciência. No eixo da continuidade científica está a representação da relação entre teorias sucessivas, suas analogias

e diferenças e, conseqüentemente, da possibilidade de comunicação e confronto entre elas.

Distinguimos, a grosso modo, três tipos de modelos. O primeiro é o da **independência** científica. Nele, a atividade científica tem uma racionalidade e uma metodologia próprias que determinam a evolução do seu produto independentemente das confluências históricas concretas. Conseqüentemente, o produto científico é essencialmente contínuo. O segundo tipo de modelos é o da **semi-dependência**: nele, admite-se uma composição entre influências externas e racionalidade interna, assim como uma composição entre continuidade e ruptura entre teorias sucessivas. O terceiro tipo é o da **dependência** científica: a grosso modo, ele afirma que existe um paralelismo entre desenvolvimento científico e social. O desenvolvimento científico seria uma forma de desenvolvimento social, sujeito às mesmas influências deste último, sem nenhuma peculiaridade essencial que indique uma caracterização diferente; como conseqüência, a continuidade ou não das teorias científicas e das práticas científicas seria meramente acidental.

Complementa este capítulo o apêndice A que trata da análise histórico-filosófica de um caso concreto: o confronto entre a Teoria do Éter de Lorentz e a Teoria da Relatividade de Einstein. Além de mostrar as diferentes interpretações, ele procura salientar suas simplificações, às vezes excessivas, introduzidas pelas diferentes linhas epistemológicas.

### 1. CIÊNCIA INDEPENDENTE

As principais idéias dos modelos que sustentam a independência da Ciência em seu desenvolvimento foram introduzidas

no capítulo anterior, quando tratamos da relação entre experimen  
tação e teorização, e da justificativa da atividade científica.  
Estes modelos são regulados por uma suposição básica: a Ciência  
procura a Verdade sobre a Natureza e de alguma maneira se aproxi  
ma dela. Não há desenvolvimento científico se não houver aproxi  
mação à explicação definitiva do Universo.

O modelo indutivista, ao apresentar a atividade cientí  
fica como uma seqüência de generalizações progressivamente mais  
amplas a partir de fatos experimentais progressivamente mais pre  
cisos e rigorosos, de fato despreza totalmente a influência da his  
tória social na atividade científica e na aceitação do seu produ  
to por parte da própria comunidade científica. A eventual presen  
ça de alguma pressão externa é motivo de invalidação científica  
e de abdicação na qualidade do seu produto. O máximo que pode ser  
concedido à influência externa sem perturbar o processo científi  
co genuíno está a monte dele, quando são escolhidos os problemas  
a serem enfrentados e, em parte, os fatos a serem analisados, ou  
a vale dele quando os resultados científicos são aplicados na pro  
dução de tecnologias com interferência das várias forças sociais.

Uma visão em boa parte análoga é sustentada pelo em  
pirismo lógico, que considera o desenvolvimento científico como  
caracterizado pelo duplo processo de estabelecimento dos fatos  
empíricos, e de sistemática purificação das teorias daquelas idéias  
não totalmente científicas. A teorização a partir da experiência  
não tem mais a garantia do rigor que lhe atribui o indutivismo;  
entretanto, esta garantia volta com a utilização da análise lógi  
ca das proposições e do princípio de verificação, que permitem a  
sistemática eliminação dos produtos ou das contaminações que têm  
origem na cultura dominante ou nas crenças individuais. O desen



volvimento científico passa por estágios de amadurecimento; a influência externa é compatível somente com a fase não-madura da Ciência, ao passo que a Ciência madura, além de ter-se tornado mais compacta pelo processo de axiomatização, ter-se-á libertado de qualquer idéia metafísica sem fundamento empírico. Conseqüentemente, o progresso científico é contínuo na sua ampliação da base experimental e na eliminação das idéias cientificamente espúrias. No entanto, poderemos ainda falar de revolução científica quando este trabalho de eliminação for particularmente significativo, como no caso da teoria da Relatividade, que afastou da Física a idéia de éter.

Uma posição mais branda caracteriza o convencionalismo e o falsificacionismo. Apesar da atividade experimental e do estabelecimento de fatos científicos serem da alçada exclusiva da racionalidade e do rigor científico, o estabelecimento das teorias admite contribuições e interferências externas. A geração de novas idéias ou hipóteses, tenham elas o valor da simplicidade ou da representação sintética da realidade, poderá ser auxiliada pela cultura ou pelas idiossincrasias individuais; seu produto, se for compatível ou, pelo menos, falsificável experimentalmente, é uma contribuição para o avanço da Ciência rumo à simplicidade final ou rumo à verdade. O sigilo final da científicidade está na ligação das hipóteses com a experiência e a observação, atividades que não podem abrir mão de sua independência e peculiaridade, sob pena de transformar a Ciência em pseudo-ciência.

A presença de uma anomalia comprovada (resultado experimental que não se encaixa na teoria) é motivo suficiente para descartar a validade de uma teoria, e afastar o cientista dela; a anomalia, para o falsificacionista, é sinônimo de falsida-

de, e, para o convencionalista, de fracasso na síntese teórica.

Evidentemente, quando esta posição é confrontada com a história factual da Ciência, encontra-se um dilema: ou condenar quase em bloco a atividade científica por sua incoerência em trabalhar com teorias não corroboradas, ou modificar a opinião sobre as anomalias e seu papel. A visão de Popper (1972) sobre este ponto é bem articulada. Ele admite uma diferenciação entre as obrigações do cientista individual e da comunidade científica. O cientista trabalha no sentido de eliminar ou contornar as anomalias, conseguindo muitas vezes salvar a teoria do fracasso; entretanto, outras vezes, as modificações introduzidas são "ad hoc", ou seja, servem unicamente para tapar buracos isolados, sem realmente melhorar a qualidade da teoria. Caberá então à comunidade científica e à história científica o julgamento final dos produtos científicos: os que têm alguma falha serão abandonados logo que aparecerem produtos melhores. Se é permitido aos cientistas individualmente não serem totalmente racionais em sua atividade cotidiana para comprovar suas teorias com as quais de alguma forma se identificam, a racionalidade científica é recuperada totalmente pela comunidade ao longo de um certo período. Junto com a racionalidade é recuperada também uma certa "continuidade" do progresso científico, pela acumulação dos fatos experimentais e das provas negativas que derrubam definitivamente as teorias, e pelo aperfeiçoamento sistemático das formulações matemáticas das leis científicas. As revoluções científicas são o reverso da medalha deste processo que precisa continuamente ser criativo e inventar idéias novas para poder progredir; esta atividade está completamente aberta à influência externa, psicológica, sociológica, etc.. As Ciências que não podem apresentar em seu currículo, além da

geração de idéias novas, também as características de continuidade, devem ser consideradas em estágio pré-científico ou pseudo-científico.

## 2. CIÊNCIA SEMIDEPENDENTE

A admissão de Popper de que, além da interferência externa na geração das teorias e da descontinuidade entre elas, existe também um comportamento "natural" do cientista em salvar suas teorias, abriu uma brecha na visão "purista" da atividade científica. Quem realmente ampliou esta brecha, modificando a visão de desenvolvimento científico e dando novo impulso à história da Ciência e à sua interpretação foi T. Kuhn (1962); numa linguagem viva e às vezes um pouco ambígua tentou uma síntese entre visão interna e sociológica da Ciência. Ele usou os conceitos de Revolução Científica para tratar das crises e das conseqüentes soluções de continuidade entre as teorias e de "Paradigma" para reconstruir a presença e o significado na atividade científica de fenômenos sociais como autoridade, tradição e dogma (Kuhn, 1961).

Ele distingue três estágios no desenvolvimento da Ciência: (1) pré-paradigmático, (2) paradigmático ou Ciência normal, (3) Ciência revolucionária.

- (1) A fase pré-paradigmática se caracteriza por procedimentos de ensaio e erro, por recolhimento de dados e fatos, por generalizações e explicações precárias e pela contínua rediscussão e reformulação dos fundamentos do campo da pesquisa.

(2) Esta fase chega ao fim, quando conquistas científicas reconhecidas universalmente se tornam ponto de partida e orientação para as práticas futuras, propiciando uma certa articulação da teoria. Nasce assim o "paradigma" que garante a fundamentação teórica do campo e fornece os critérios para a escolha dos problemas e os instrumentos para a sua solução. Nesta fase, só existem três tipos de problemas: a determinação de fatos significativos, a ligação coerente entre fatos e teoria e a articulação da teoria.

Na realidade "paradigma", para Kuhn, tem dois distintos significados: um mais gnoseológico, como conquista exemplar do passado e o outro mais sociológico, como matriz "disciplinar" de um determinado campo (Kuhn, 1970).

As conquistas exemplares do passado são as soluções que a comunidade acolheu como significativas num determinado campo e que representam o protótipo de um resultado científico.

A matriz disciplinar tem a função de regular o comportamento dos integrantes da comunidade, tornando não-problemática sua atuação e sua comunicação; ela consta de **generalizações simbólicas**, que envolvem sejam os símbolos preferidos, sejam as fórmulas utilizadas; de uma **heurística**, que se refere às analogias preferidas e às metáforas permitidas, capazes de auxiliar na solução rotineira dos problemas; de **valores**, que caracterizam a avaliação das qualidades das previsões e das teorias (como precisão, simplicidade, consistência, integração) e de **exemplos** do passado a serem imitados ou seguidos e cujo reconhecimento define mais especificamente os especialistas num determinado campo.

(3) A revolução científica se dá quando são revertidas as bases do paradigma, o qual não consegue mais exercer sua função de orientar a pesquisa ou, em outras palavras, perde seu poder gerador de problemas. Kuhn enfatiza aqui as "anomalias" que resistem à solução pelas teorias vigentes. Afirma que, quando surge uma anomalia, a concentração de pesquisas em torno desta anomalia abre espaço para uma revolução científica, com perda de elementos reguladores confiáveis. Exemplo disso é a Teoria da Relatividade que, segundo Kuhn, se realizou a partir da desconfiança em relação ao éter.

A transição para um novo paradigma constitui uma descontinuidade no desenvolvimento científico, uma vez que não há comensurabilidade entre as teorias em jogo, impossibilitando-se uma decisão racional entre paradigmas competitivos. As razões para esta não-comensurabilidade são várias: as teorias que competem podem pertencer a esquemas científicos ou modelos de Ciência diferentes; podem utilizar termos comuns ou conceitos análogos, mas com o significado diferente (pois o contexto teórico define mediante diferentes relações seus conceitos teóricos); podem pressupor diferentes visões de mundo com diferentes aparatos conceituais e experimentais; podem acreditar em diferentes enfoques e terem diferentes expectativas experimentais e diferentes valores para avaliá-las.

Uma decisão racional entre paradigmas opostos suporia uma tradução de todas estas diferenças possíveis numa linguagem neutra, acima das teorias, para se poder avaliar a melhor delas; portanto, uma decisão "racional" é praticamente impossível.

A conversão para o novo paradigma é decidida, em par

te, por razões de fato e de conveniência, quando um grupo reunido em torno de uma teoria de fato ganha o domínio do campo e pressiona o resto para uma escolha no seu sentido e, em parte, com argumentos de persuasão, onde é dada importância maior às perspectivas para o futuro do que aos sucessos do passado.

Embutidas nessa visão de Ciência através de fases, estão as teses principais de Kuhn, que constituíram uma mudança na perspectiva de análise do "progresso" científico:

- A) A Ciência, quando é analisada no seu desenvolvimento, deve envolver a dimensão sociológica, pois a validade de uma teoria é um fenômeno sociológico e não estritamente gnoseológico, e mudanças de paradigmas envolvem reorganizações ou mudanças institucionais na comunidade científica.
- B) O desenvolvimento científico é fundamentalmente mudança em relação ao passado, e não necessariamente "progresso", ou seja, caminhar para uma meta. É uma espécie de processo natural no sentido darwiniano, com as variações e mutações que não correspondem a uma aproximação da verdade, mas simplesmente à acumulação de resultados técnicos experimentais e de soluções dos problemas num determinado paradigma, e às mudanças de fundamentos das soluções procuradas.
- C) Conseqüentemente, os fatores externos à Ciência tem um papel significativo. Os problemas sociais e econômicos e as contribuições tecnológicas orientam os procedimentos, ao passo que os preconceitos metafísicos e as experiências individuais dos cientistas influenciam seus modelos e suas teorias. Em particular, os fatores de crises podem vir do exterior, modificando a percepção coletiva do significado ou do peso de uma de-

terminada anomalia, e provocando uma tensão interna na comunidade para que ela seja resolvida. Também podem vir do exterior considerações decisivas para a adoção de um novo "paradigma" ou, pelo menos, para desequilibrar a balança dos argumentos no confronto e na escolha entre paradigmas diferentes.

O trabalho de Kuhn foi acompanhado de um debate prolongado, principalmente pelas ambigüidades não resolvidas (Böhme, 1977): além do desacordo sobre seus fundamentos epistemológicos, foi criticada sua noção de "paradigma", a conexão entre paradigma e comunidade científica, a distinção entre ciência normal e revolucionária e a noção de "progresso" científico. Isso provocou o aprofundamento de suas teses em duas linhas.

A primeira tentou recuperar, de alguma forma, a racionalidade do processo científico, propondo sua reconstrutibilidade em termos racionais e marcando sua dimensão progressiva; e a segunda tentou explicar melhor as características da "naturalidade" do processo evolutivo da Ciência.

## 2.1. A Racionalidade da Ciência

Entre os vários trabalhos que surgem da confrontação direta com a tese Kuhniana da incomunicabilidade e incomensurabilidade dos paradigmas, duas idéias chamaram nossa atenção: a de Programa de Pesquisa Científica de Lakatos e a de Peso dos Problemas Científicos de Laudan.

### **Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica (Lakatos, 1972)**

Para Lakatos, juntando filosofia e história da Ciência, é possível reconstruir a história científica "interna" dan-

do uma explicação racional do crescimento do conhecimento objetivo; a história externa empírica (sócio-psicológica) somente deve ser utilizada para dar conta dos fatos que não cabem na racionalização objetiva como, por exemplo, a eliminação "política" de uma linha de pesquisa ou o desenvolvimento acelerado de outra.

A história racional pode ser descrita e explicada em termos de Programas de Pesquisa Científica. Um Programa é um fenômeno científico caracterizado por grandes conquistas científicas e por um notável potencial de problematização; ele não se identifica com uma teoria, nem com uma série de teorias, pois envolve também elementos genéticos.

Um Programa é constituído por um "Núcleo Sólido" de idéias fundamentais, suficientemente gerais para poderem ser consideradas inquestionáveis por princípio (ou por convenção), pelo menos provisoriamente, e que fornecem os critérios para interpretar ou questionar todo o resto. Junto com o núcleo sólido existe também uma "Heurística Positiva"; ele define os problemas, delineia a construção de um conjunto de "Hipóteses Auxiliares", descartáveis, que constituem um "cinturão protetor" na explicação dos fatos ou em sua previsão, enfrenta as anomalias e as torna exemplos vitoriosos da conquista do programa, tudo de acordo com um plano. Núcleo sólido e heurística positiva representam o essencial de um programa de pesquisa: sua utilização é sinônimo de vitalidade do programa, sua modificação é sinônimo de fracasso do programa.

Quem decide a escolha dos problemas é muito mais a heurística positiva do que a existência de anomalias; elas podem ser deixadas momentaneamente de lado se o Programa está em expansão e somente começam a pesar quando a força da heurística enfra



quece.

A metodologia de Lakatos fornece os critérios racionais para julgar os programas, e as regras para abandoná-los. Um programa é **progressivo** quando seu crescimento teórico antecipa seu crescimento empírico, ou seja, quando ele prevê fatos novos com sucesso. Um programa é **estagnante**, quando ele consegue somente dar explicações a posteriori das descobertas feitas casualmente ou por programas rivais. Tais explicações são consideradas "ad hoc", quando somente explicam as descobertas novas ou simultaneamente prevêem outros fatos não corroborados ou não se enquadram no espírito heurístico positivo do programa.

Quando um programa é mais progressivo que outro ele o supera, tomando conta do campo: temos uma revolução vitoriosa. Dentro deste esquema, é possível interpretar a seqüência de teorias, como no caso do modelo atômico de Bohr, as quais podem emergir dentro do "cinturão protetor", trabalhando com sucesso as dificuldades e as inconsistências da teoria, às vezes sem precisar de desafios empíricos.

Zahar (1973) seguindo este esquema (ver Apêndice A), tentou reconstruir todo o confronto entre o programa de Lorentz e de Einstein, e mostrar que este último superou o primeiro por causa de sua heurística mais poderosa.

Na teoria de Kuhn praticamente não há progresso, ao passo que, dentro da teoria de Lakatos, o progresso científico caracteriza o estado de um programa de pesquisa em expansão, e a racionalidade do desenvolvimento científico está no fato de que o programa vitorioso é sempre mais progressivo do que os rivais.

## A Ciência como Resolução de Problemas (Laudan, 1977)

A mesma preocupação em salvar a racionalidade da Ciência anima o trabalho de Laudan, que a considera como uma atividade específica de resolução de problemas.

Nesta perspectiva, as teorias científicas só importam na medida em que ofereçam soluções adequadas aos problemas, eliminando ambigüidades, reduzindo irregularidades a uniformidades e demonstrando previsibilidade dos fenômenos, numa dialética entre desafios e teorias adequadas.

Laudan distingue problemas empíricos e conceituais, apesar de reconhecer que ambos surgem dentro de um contexto. Para ambos existem as respectivas anomalias.

Os problemas empíricos se referem a questões substantivas sobre objetos, que constituem o domínio de uma determinada área. Os problemas conceituais se referem a inconsistências internas ou lacunas das teorias ou a seus conflitos teóricos. As anomalias são problemas empíricos ou conceituais resolvidos por uma teoria e não por outras; elas constituem uma ameaça à teoria, pois o valor desta é um fenômeno comparativo e seu progresso consiste exatamente em transformar problemas não-resolvidos e anomalias em problemas resolvidos.

Para Laudan, o objetivo da Ciência é maximizar a extensão dos problemas empíricos resolvidos, enquanto se minimiza a extensão de problemas conceituais e anômalos.

Para poder conciliar a idéia de progresso por ele definida e o fato histórico de que nem sempre as teorias resolvem os mesmos problemas e, mais grave ainda, de que, às vezes, teorias novas não resolvem alguns problemas que as anteriores resolviam, Laudan inventa uma nova categoria epistemológica: o **Peso dos**

**Problemas, e os Critérios Racionais.** que estabelecem quais problemas são prioritários e quais são marginais.

Os problemas empíricos crescem de importância dentro de uma determinada Teoria quando envolvem soluções totalmente novas ou bem gerais, quando são anômalos, quando sua solução se torna um modelo. Para Laudan, o peso de um problema é avaliado com a racionalidade da época, por isso pode variar e até se esvaziar em determinadas circunstâncias; sua dissolução pode depender da escassa reprodutibilidade dos resultados experimentais, da mudança das teorias relevantes ou da mudança do seu domínio.

Analogamente, os problemas conceptuais aumentam de peso, dentro de uma teoria, quanto maior for sua tensão em relação a outras teorias, quanto mais resistirem à solução e quanto maior for sua anomalia.

Finalmente, as anomalias crescem quanto maior for a discrepância entre dados experimentais e previsões teóricas e quanto mais resistirem à solução.

O peso e o número dos problemas resolvidos e não-resolvidos se constituem então nos critérios de avaliação comparativa entre as teorias.

Além das teorias específicas (Teoria Eletromagnética de Maxwell, Teoria de Marx sobre Valor, etc.) que se defrontam diretamente com os dados empíricos, existem também "teorias" mais gerais como, por exemplo, a Mecânica Quântica em Física, a Teoria da Evolução em Biologia, etc., que na realidade incluem várias teorias específicas, às vezes contrastando, entre elas, e que Laudan chama de **Tradições de Pesquisa**.

Uma Tradição de Pesquisa consiste num conjunto de hipóteses gerais sobre entidades, métodos e processos num domínio

de estudo adequado, capazes de construir teorias e, mediante estas, resolverem problemas no mesmo domínio. Sua função é orientar na determinação dos problemas pertinentes, limitar as possíveis teorias compatíveis com sua metodologia e/ou metafísica, sugerir heurísticamente como modificar e transformar suas teorias e, finalmente, racionalizá-las e justificá-las.

É importante salientar que as teorias não coincidem totalmente com a Tradição de Pesquisa de maneira que, de um lado, esta não pode ser deduzida a partir de suas teorias e, de outro lado, suas teorias podem em alguns casos pertencer também a outras Tradições. Veremos uma situação deste tipo no confronto entre visão eletromagnética e relativística (Apêndice A).

A eficácia relativa na resolução de problemas mediante suas últimas teorias determina a aceitabilidade de uma Tradição; ela estará racionalmente em progresso se, segundo os critérios da época, ela tem sua aceitabilidade em crescimento. Isso, evidentemente, em nada implica sobre a verdade ou falsidade de suas teorias, pois os critérios para tal julgamento não estão à disposição, nem interessam à Comunidade Científica.

Laudan contesta a tese Kuhniana da incomunicabilidade e incomensurabilidade entre as teorias, pela inexistência de uma linguagem neutra teórica capaz de diminuir os conflitos. Para ele, apesar de não existir esta linguagem neutra, é possível comparar teorias e Tradições de Pesquisa, pois as anomalias que constituem ameaça são aquelas que dizem respeito a problemas empíricos comuns, mesmo que eles sejam formulados diferentemente nas diversas teorias e tradições. Por exemplo, o problema da estabilidade dos átomos se colocou tanto na Teoria Quântica de Bohr quanto na Teoria do Elétron de Lorentz; ao contrário, o problema da

velocidade da Terra em relação ao Éter se colocou somente nesta última (Apêndice A) e, conseqüentemente, desapareceu com ela (e também ressurgiu recentemente com as teorias Neo-Lorentzianas).

Laudan enfrenta, finalmente, o problema da história externa.

Aceitar uma Tradição de Pesquisa menos adequada que sua rival, insistir numa teoria que não está progredindo, dar peso maior ou menor a um problema ou a uma anomalia do que seria merecido cognitivamente, são situações que merecem uma explicação pela sociologia do conhecimento. Ela é particularmente promissora na pesquisa dos determinantes sociais na pesagem dos problemas, (intuitivamente) influenciada por pressões de classe, nacionalidade, economia e outros componentes sociais.

Se quisermos comparar as teses de Lakatos e Laudan, podemos assim caracterizar as diferenças:

- 1) Para Laudan, o aspecto prático de resolução de problemas é a característica fundamental da Ciência. Por isso, o Peso dos Problemas se torna um critério importante para explicar sua história.
- 2) Para Laudan, não existem critérios objetivos absolutos de racionalidade, como para Lakatos; os critérios são sempre históricos e dependem do contexto sócio-cultural. Por isso, a história social tem um papel diferente nas duas interpretações.
- 3) Para Laudan, as Tradições de Pesquisa são mais gerais do que os Programas de Pesquisa, pois as ligações entre Tradições e teorias específicas não são unívocas.

## 2.2. Evolucionismo Natural e sua Historicidade

O modelo evolutivo de desenvolvimento científico descrito por Böhme e colaboradores (1976) se aproxima da teoria Darwiniana, pois considera a mudança histórica das teorias científicas como uma seleção natural, operada pela influência de fatores externos. Neste modelo, estes fatores não somente condicionam a taxa de crescimento da Ciência, sua seleção dos problemas e as inovações introduzidas, mas também chegam a influenciar a própria seleção das teorias pelo processo de adaptação entre Ciência e sociedade.

De fato, as teorias científicas, além de uma vida "intelectual" reguladas internamente pelos critérios da comunidade científica, têm também uma vida "social" regulada pelas necessidades da sociedade, as quais pressionam um número diferente de cientistas a trabalharem com as diferentes teorias e permitem, no mínimo, a oportunidade para que elas se firmem autonomamente.

Segundo os autores, todas estas influências externas provocam um processo de adaptação da Ciência às condições de sobrevivência social e econômica imposta pela sociedade; as normas que regulam a produção científica, além de incorporar e expressar elementos metodológicos, lógicos e estratégicos, dependem também de fatores culturais, religiosos e sociais. As idéias explicativas, a legitimidade de determinados tipos de pesquisa, a relevância e a própria constituição do objeto de pesquisa envolvem elementos e valores que dependem fortemente do contexto exterior. Um exemplo interessante de análise histórica segundo estas linhas é dado pela interpretação, por Battimelli (1973), da passagem da teoria de Lorentz para a teoria de Einstein, detalhada no Apêndice A.

A tese de Böhme é de que as próprias modalidades de influência externa e de crescimento interno se modificam com o tempo, de forma que a Ciência passa de um processo natural de seleção de teorias para um processo consciente de planejamento científico. Este planejamento afetaria a própria dinâmica da Ciência, modificando o esquema Kuhniano de desenvolvimento cíclico e estável de "paradigmas". Para Böhme, quando uma Ciência atinge uma "plenitude" que indica a "compreensão" de seu objeto de estudo e adquire uma maturidade nas suas formas de atividade, ela começa a aceitar ser guiada externamente, pelo menos em parte, nas suas próprias pesquisas teóricas, pois, de um lado, os critérios internos de relevância não são mais suficientes para selecionar as fronteiras da pesquisa e, de outro lado, o volume de recursos nela investidos exige uma maior interação com o restante da sociedade.

Este fenômeno de interação mais estreita entre Ciência e sociedade, dominado por um alto grau de programação científica, é chamado de "finalização" e é caracterizado por quatro dimensões históricas:

- A) o próprio objeto de análise científica se torna produto científico, como no caso dos fenômenos físicos sofisticados;
- B) a aplicação da teoria torna-se orientação para o próprio desenvolvimento da teoria, como no caso do desenvolvimento da Física Nuclear a partir de sua aplicação bélica e energética;
- C) a Ciência começa a produzir sua própria tecnologia para auxiliar e aumentar sua capacidade de experimentação, como no caso dos aceleradores e dos detetores da Física de Partículas;

D) a teoria fundamental já atingiu um certo grau de amadurecimento e de segurança em seus procedimentos.

Uma variante do processo de "finalização" é a "funcionalização", que se dá quando uma disciplina entra num processo de interação acentuada com suas aplicações, antes de atingir o estado de "plenitude" teórica. Neste caso, se dá uma espécie de curto circuito com as metas externas, o que provoca a criação de modelos apropriados de análise, não referentes unicamente a questões teóricas internas.

O conceito de "finalização" constitui uma síntese entre aspectos externos e internos da Ciência. Ele envolve aspectos externos, pois considera como constituintes fundamentais do desenvolvimento científico sua incorporação na esfera da produção, seu planejamento, diferenciação e administração de setores da vida social (ex.: "cientificização" do mundo, através da automação, da informática e da cibernética) e os correspondentes condicionamentos externos.

Ele envolve também aspectos internos, pois supõe que o desenvolvimento programado se dê somente após atingir maturidade e "plenitude" teóricas, que são caracterizadas por elementos especificamente científicos (alto nível de abstração, progressivo afastamento das imagens e noções do senso-comum, linguagem sofisticada, corpo de conhecimentos estável, etc.).

### 3. CIÊNCIA DEPENDENTE

A visão de desenvolvimento científico do modelo evolucionista natural é caracterizada por uma acentuada consideração



dos elementos extracientíficos como condicionantes históricos. Quem levou às suas extremas conseqüências esta consideração foi a linha sócio-econômica, sustentada principalmente pelos historiadores e filósofos da Ciência marxistas (Böhme, 1977).

Para eles, a Ciência não é um complexo autônomo regulado por leis internas específicas, mas uma atividade regulada pelos mesmos processos de desenvolvimento social das outras instituições, e pelos mesmo condicionantes econômicos. Para mostrar e desenvolver esta tese, o enfoque da análise é colocado sobre a constituição social dos conceitos científicos, e sobre a interação entre Ciência e produção econômica.

Em relação ao primeiro aspecto, a idéia dominante é a gênese das idéias científicas a partir do concreto socializado: as formas dominantes de trabalho inspiram e caracterizam as concepções científicas dominantes. Temos, assim, uma relação direta entre o trabalho artesanal hábil e a concepção orgânica da natureza, entre a atividade articulada do engenheiro e a concepção cibernética e sintética da natureza. Cada vez que uma forma de trabalho se modifica, correspondentemente também a concepção do mundo físico se modifica.

Esta análise genérica pode ser mais detalhada em casos mais específicos: é possível ver uma ligação entre o "racionalismo" que tentou dominar as relações de produção, tornando-as objetivas e degradantes no início do capitalismo, e o racionalismo que deu origem à Ciência moderna a partir de uma correspondente visão mecanicista. A visão do trabalho como mecânico seria a fonte da visão do mundo como uma grande máquina, e os conceitos científicos fundamentais poderiam ser abstraídos a partir dos mecanismos das máquinas cotidianas.

Analogamente, é possível ver uma ligação entre falência do modelo capitalista de controle e planejamento rigoroso da economia, e o início da Ciência atual com sua conceituação indeterminista: a incapacidade de dominar localmente os empecilhos do desenvolvimento capitalista corresponderia à incapacidade de dominar cognitivamente os elementos últimos da natureza física.

Exemplos mais específicos, de origem social, dos conceitos científicos podem ser encontrados na análise dos elementos que caracterizam a troca de mercadoria e produtos na sociedade; deles teriam nascido por abstração e por generalização os conceitos de substância, causalidade, interação, e os conceitos de peso, medida e comprimento.

Onde a análise marxista se situa mais à vontade é na relação entre desenvolvimento científico e função social da Ciência.

Wolkow (Böhme, 1977) distingue três épocas no desenvolvimento científico que correspondem a um efetivo progresso social de sua função e a um correspondente crescimento de sua integração.

As mudanças de uma época para outra recebem um impulso fundamental com os aperfeiçoamentos nos instrumentos científicos que modificam a forma de atuação científica e as conseqüentes concepções científicas. A grosso modo, a revolução industrial e a revolução técnico-científica marcam a passagem de uma época para outra.

Na primeira época, na qual a Ciência se dedica principalmente ao esclarecimento e à explicação, a geração de visões de mundo e de correspondentes consciências sociais colocam-na a serviço do poder, numa articulação com as outras superestruturas

- a Religião e a Filosofia. Nesta época, o conflito entre atividade científica e atividade produtiva é pleno, assim como os interesses dos trabalhadores e dos cientistas são contrastantes.

Na segunda época com a revolução industrial e a mecanização do trabalho, a Ciência desenvolve sua capacidade tecnológica, perdendo boa parte de seu caráter de superestrutura e tornando-se força produtiva. No entanto, sua identificação com a produção não é total, pois a atividade científica, de um lado, planeja as máquinas que auxiliam o trabalho humano e, de outro lado, mantém sua independência, desenvolvendo-se como Ciência pura. A separação entre Ciência pura e Ciência aplicada representa uma forma da distinção clássica entre trabalho intelectual e físico, entre trabalho isolado e trabalho socializado e, de alguma maneira, entre trabalho alienado e trabalho socialmente positivo. A mesma forma de conflito se instaura em relação à atividade da classe trabalhadora: por um lado, a atividade científica auxilia a manutenção do poder e, por outro lado, dá suporte, alivia e liberta o trabalho humano.

Na terceira época, que começa com a revolução dos instrumentos de trabalho e é caracterizada pela crescente automação, a Ciência tira do trabalhador a função de produzir e introduz diretamente seus resultados na produção. A revolução científica e técnica coincidem, e a indústria se torna crescentemente ligada e dependente da inovação científica; a Ciência adquire uma importância econômica e social crescente, pelo papel que assume no planejamento da vida humana. Neste planejamento estão envolvidas não somente as Ciências naturais mas também as humanas, que assumem a função de auxílio e assessoramento no planejamento da indústria e das condições de trabalho (teorias da organização, da comunica

ção, psicologia do trabalho).

A separação entre atividade científica e atividade trabalhadora produtiva desaparece pelo duplice processo de cientificização da produção e tecnicização da Ciência: os correspondentes conflitos de interesse de classe entre cientistas e trabalhadores também desaparecem.

A crítica que este tipo de análise recebe focaliza sua generalidade e sua separação do desenvolvimento do conteúdo científico; e, de fato, a análise marxista se refere principalmente a questões ligadas à organização e ao planejamento científico. Mesmo quando se analisam as concepções científicas, se evitam os detalhamentos referentes a mudanças específicas obtidas em contextos específicos, culturais, sociais e científicos. Isso revela que o mecanismo pelo qual a Ciência é influenciada na sua produção específica é completamente obscuro, e por isso é sistematicamente desprezado; conseqüentemente, é difícil aceitar como conexões causais diretas as relações entre conteúdo científico e forma social.

Finalmente, a distinção entre "continuidade" e "revolução" científica perde seu significado específico na relação entre as teorias sucessivas, e por isto é difícil confrontar esta visão de Ciência com as restantes.

#### 4. CONCLUSÕES

Neste capítulo, procuramos delinear os modelos de desenvolvimento científico mais conhecidos, para complementar a idéia de Ciência e de Física enfocada no capítulo anterior. Apro

veitamos ao máximo os resultados e as idéias mais recentes desenvolvidas nas pesquisas históricas e filosóficas sobre Ciência, com o intuito de fornecer um quadro mais articulado e mais convincente.

Os modelos apresentados foram delineados a partir da focalização de duas variáveis fundamentais: o papel da história social e cultural e a caracterização da relação entre teorias sucessivas.

Começamos analisando os modelos mais internalistas e cientificistas, que rejeitam ou limitam ao máximo a interferência da história sócio-cultural e tendem a acentuar a continuidade ao interior do desenvolvimento científico; passamos, depois, à exposição do modelo de Kuhn que, pela primeira vez, tenta complementar a análise científica com a análise sociológica.

Em seguida, fizemos uma exposição bastante detalhada da vertente que procura racionalizar ao máximo o "progresso" científico, incluindo nele contribuições culturais e sociais (Lakatos e Laudan); passamos para a vertente naturalista (Böhme), que enfatiza a interferência externa na própria transformação da atividade científica, a qual termina por se constituir num componente essencial da vida humana sem, no entanto, perder sua especificidade.

Finalmente, terminamos com a visão da corrente marxista, que focaliza principalmente a relação entre Ciência e produção, reduzindo a primeira a um modo de ação social.

Os pontos de vista às vezes são complementares, mas às vezes também são conflitantes, sobretudo na escolha dos dados históricos a serem interpretados e nos pressupostos filosóficos utilizados. Isso aparece com mais evidência no Apêndice A, no qual

analisamos em detalhe as diferentes interpretações de um caso histórico concreto: a passagem da Teoria do Éter para a Teoria da Relatividade.

O quadro delineado, apesar de conter várias alternativas e vários pontos a serem esclarecidos, questiona a imagem tradicional da Ciência de origem baconiana ou, mais geralmente, empirista, propondo uma nova imagem mais articulada, mais dinâmica e mais humana.

Dois pontos fundamentais contribuem para a deformação da visão de Ciência: atemporalidade e acriticidade. A Ciência ensinada não é a Ciência de nenhuma época histórica e, menos ainda, de nenhuma seqüência de épocas; a Ciência ensinada tem uma base filosófica implícita que não é explicitada e, menos ainda, discutida. Se esta maneira de proceder pode ter uma justificativa numa determinada época da formação do futuro cientista, pois concentra sua atenção em questões mais especificamente técnicas, é totalmente injustificável na formação de um professor que será responsável pela educação científica conclusiva da maioria de seus estudantes.

Os dois eixos por nós levantados, o da "racionalidade" de seu desenvolvimento, (incluindo sua relação com a história social) e o da mudança dos pressupostos metafísicos e heurísticos nas várias e sucessivas teorias, vêm complementar a análise feita no capítulo anterior.

É nossa convicção que os resultados destas análises devem necessariamente ser incorporados no currículo de formação dos futuros professores.

Porém, antes de propor as nossas mudanças, torna-se importante analisar uma outra imagem deformada que permeia o en-

sino: a concepção da aprendizagem dos alunos. Será o tema dos capítulos quarto e quinto.

#### BIBLIOGRAFIA CITADA

- Battimelli, G., "Teoria dell'Elettrone e Teoria della Relatività. Uno Studio sulle Cause...", Tesi di Laurea, Roma, 1973.(Não-Publicada).
- Böhme, G.; Van der Daele, W.; Krohn, W., "Finalization of Science", Social Science Inform. XV (1976) pp. 306-330.
- Böhme, G., "Model for the Development of Science", está em Spregel-Rösing, Solla Price (eds.), "Science, Technology and Society. A Cross-Disciplinary Perspective", Sage Publ., London, 1977, pp. 319-351.
- Kuhn, T.S., "The Function of Dogma in Scientific Research", está em Crombie (ed.), "Scientific Change: ...", London, Heinemann, 1961, pp. 347-369.
- Kuhn, T.S., "The Structure of Scientific Revolutions", está em Neurath, Carnap (eds.), "Foundations of the Unit of Science", vol. II, 1970, pp. 53-272 (1ª edição 1962).
- Lakatos, I., "Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes", está em Lakatos, Musgrave (eds.), "Criticism and the Growth of Knowledge", Cambridge Univ. Press, New York, 1972, pp. 91-196.
- Laudan, L., "Progress and Its Problems", Univ. College Press, Berkeley, 1977.
- Popper, K.R., "Logic of Scientific Discovery", Hutchinson, 1972.
- Zahar, T., "Why did Einstein's Programme Supersede Lorentz's", Brit. Jour. Phil. Sc. 24 (1973) pp. 95-123 (I) e pp. 223-262 (II).

#### IV. NOÇÕES ESPONTÂNEAS: PESQUISAS E RESULTADOS

Nos capítulos anteriores, contestamos a idéia simplista da Física e das Ciências como constituídas basicamente de leis matemáticas abstraídas a partir da observação e experimentação, num processo histórico continuamente se aproximando da Verdade; a presentamos, no seu lugar, uma imagem muito mais articulada, na qual a combinação de experimentação, teoria e aplicações passa pe la mediação de pressupostos, intuições e idéias heurísticas, e o desenvolvimento da Ciência manifesta rupturas teóricas e interferenciais essenciais da cultura e da sociedade. Neste capítulo, enfrentaremos a idéia também simplista de que o estudante possa receber sem dificuldade a transmissão do conteúdo que lhe queremos ensinar e mostraremos que existe nos estudantes uma imagem do mundo físico que entra em conflito com este conteúdo.

A prática cotidiana do docente parece revelar uma certa inadequação do sistema de educação em Ciência, face ao número elevado de respostas incorretas a qualquer teste que envolve um mínimo de aplicação do conteúdo científico pretensamente aprendido pelos alunos. É verdade que para tais resultados não faltam justificativas "locais", como falta de motivação, de pré-requisitos, de amadurecimento, de estudo por parte dos estudantes ou falta de clareza, precisão e aprofundamento por parte do docente. Entretanto, existem razões fortes para pensar que a situação é bem mais complexa e não poderá ser resolvida somente aumentando o in



centivo para os estudantes, bem como o preparo científico e a paciência dos docentes. Os resultados das pesquisas mais recentes na área de Educação Científica vêm confirmando de forma surpreendente a tese de que uma das causas mais sérias do insucesso do ensino estaria em seu desprezo pelo conhecimento prévio dos estudantes; a não-exploração das potencialidades deste conhecimento e o não-tratamento explícito de suas limitações se constituiriam como a prova do desperdício e do amadorismo no ensino de Ciência.

Neste capítulo, após sintetizar rapidamente os resultados das primeiras pesquisas piagetianas sobre a maneira espontânea de pensar o mundo físico por parte das crianças, apresentaremos as idéias mais significativas da mudança de enfoque que, a partir do começo da década de 70, têm caracterizado as pesquisas sobre concepções "espontâneas" dos estudantes, com uma menção específica para o desenvolvimento que esta área de pesquisa tem tido no Brasil. Discutiremos, em seguida, sua problemática e seus rumos atuais, finalizando com algumas observações e conclusões sobre a relevância destes resultados na formação do professor.

### 1. PIAGET E O PENSAMENTO "ESPONTÂNEO"

Os primeiros trabalhos de Piaget, realizados na década de 20, já revelam sua preocupação gnoseológica em caracterizar o conhecimento numa perspectiva "construtivista"<sup>[1]</sup>; para ele, as idéias sobre o mundo físico são construídas pelas crianças a

---

[1] Na exposição deste item usaremos com abundância as idéias de Battro (1976) e sua maneira de apresentar os trabalhos de Piaget.

partir de sua ação sobre este mundo, com a mediação de suas estruturas mentais. Por esta razão, o primeiro interesse de Piaget é pela lógica infantil e por sua representação do mundo. Sua tese é que a representação do mundo se modifica com a utilização de novas estruturas mentais, e que existe um paralelismo entre a evolução destas últimas e daquela.

O raciocínio infantil é caracterizado pela "inconsiência do pensamento frente a si mesmo", pelo uso da transdução (a utilização de proposições singulares associadas à incapacidade de concepções gerais e de definições), e do sincretismo (a associação de proposições que são entendidas em separado e utilizadas num esquema de implicações no qual elas se confundem).

A representação do mundo na criança tende a conferir um estado físico ao mundo interior dos sonhos e das fantasias e a outorgar propriedades vitais, conscientes e morais às causas físicas; o comportamento resultante é regulado pela concepção que o mundo exterior gira ao redor e satisfaz as necessidades humanas. A idéia de causalidade varia de uma representação pré-causal (psicológica, fenomenista, finalista, mágica, animista) na primeira infância para uma representação causal estrita (do tipo mecânico ou por geração, por identificação substancial, por decomposição atomista, por rarefação e condensação, etc.) no final da infância.

Entre 1930 e 1941, Piaget aprofunda a análise do mundo da criança e tenta detalhar a passagem do "caos ao cosmo", constituída pela construção de um universo ao mesmo tempo substancial e espacial, causal e temporal, através da liberação progressiva e gradual do egocentrismo e a tomada de posse do objeto como tal.

Para a criança, no começo o objeto é prolongamento

dos movimentos de adaptação: o que ele reconhece é antes de tudo sua própria reação frente à continuidade dos esquemas sensório-motores; em seguida, o objeto é o campo de intersecção dos múltiplos esquemas que se manifestam nas modalidades diferentes da própria ação da criança. Nesta época, o objeto é assimilado mediante esquemas táteis e visuais e sua permanência é entendida como algo à disposição da ação; finalmente, o objeto se constitui em correlação com a causalidade, na medida em que a coordenação dos esquemas da criança termina no estabelecimento de um universo espaço-temporal inteligível e dotado de permanência.

Analogamente, a construção do espaço começa com um espaço prático, que a criança estabelece ao poder compor seus movimentos de avanço e recuo num esquema motor com a propriedade funcional da reversibilidade, passa por um espaço subjetivo, que não inclui o sujeito como um elemento a mais do mundo objetivo e, finalmente, atinge o espaço objetivo, que constitui o quadro geral onde os objetos se encontram relacionados.

A idéia de tempo começa com as impressões de espera, de desejo, de êxito e fracasso, que se realizam em sucessões formando um todo isolado do resto; em seguida, a coordenação dos esquemas leva a uma ordenação das impressões e dos atos do sujeito e, finalmente, a objetivação das séries temporais se estende à própria representação, independentemente da percepção direta da criança.

A idéia de permanência do objeto se estende, gerando as idéias de conservação no campo dos objetos discretos e dos objetos contínuos. No primeiro caso, temos a gênese da noção de número, classe e relação, e das operações de classificação e seriação; no segundo caso, a gênese e o desenvolvimento das quantida-

des físicas como substância, peso e volume com as respectivas conservações, possíveis somente após a construção das estruturas formais na primeira adolescência (11-13 anos).

O sucesso dessa pesquisa levou ao ampliamto dos estudos sobre as concepções das quantidades físicas em centenas de fenômenos diferentes. Os dados empíricos e, em parte, os resultados dessas pesquisas, conduzidas principalmente por colaboradores de Piaget, são interessantes como levantamento das concepções espontâneas em crianças e adolescentes, e constituem, sem dúvida, um ponto de partida obrigatório para qualquer pesquisa que tente elucidar o problema da interação entre as noções espontâneas e o ensino tradicional.

A teoria Piagetiana sobre as estruturas mentais e seu desenvolvimento chegou à formulação dos famosos "estágios": pré-operatório, operatório concreto e operatório formal. Estes estágios seriam obrigatórios em cada sujeito, inclusive na ordem de seu aparecimento: deveria ser possível detectar sua influência nas noções espontâneas, e em sua modificação com a idade das crianças, exatamente como na construção das primeiras noções físicas.

Os resultados das pesquisas em torno das concepções utilizadas pelas crianças e adolescentes para analisar os vários fenômenos físicos, consistiram principalmente em classificar as noções de acordo com os correspondentes níveis mentais, salientando suas diferenças e suas evoluções. Atingindo as estruturas formais, o adolescente se tornaria capaz de elaborar noções semelhantes às da Física clássica e abandonaria as idéias espontâneas anteriores, compatíveis somente com um desenvolvimento mental não acabado. No desenvolvimento da concepção da realidade física não haveria, portanto, solução de continuidade entre as concepções

primitivas das crianças e as concepções científicas dos adultos, e o desenvolvimento das estruturas mentais garantiria esta passagem.

Entretanto, junto com algumas confirmações experimentais desta teoria, vieram também críticas fortes (Gilbert, 1985), sobretudo a partir da descoberta de anomalias, como as "regressões" (passagem de uma noção mais correta, do ponto de vista científico, para uma noção menos correta), das "inconsistências" entre as noções e os níveis mentais em diferentes áreas do conhecimento e do baixo grau de amadurecimento mental de adultos universitários, quando medido com as tradicionais provas piagetianas.

A dúvida mais forte sobre o paralelismo entre estrutura mental e noção física, veio da própria análise dos protocolos piagetianos, nos quais era possível localizar a permanência de noções espontâneas "não-científicas", em estudantes classificados como formais e, às vezes, nos próprios entrevistadores.

A crítica à teoria dos "estágios" e da continuidade natural do conhecimento provocou um crescimento das pesquisas com enfoque nos aspectos revolucionários do desenvolvimento cognitivo; a idéia básica era que os esquemas conceituais não somente poderiam ser desenvolvidos, mas também substituídos por outros melhores e com enfoques diferentes.

Nasciam, desta forma, as pesquisas sobre a "ciência dos estudantes", "os esquemas conceituais alternativos" ou, mais simplesmente, as "idéias espontâneas" dos estudantes, em contraposição com a "ciência dos docentes" e as "idéias científicas tradicionais", pesquisas desvinculadas da preocupação com as estruturas mentais piagetianas. Naturalmente, as críticas ao modelo piagetiano tiveram efeitos também sobre sua elaboração sucessi-

va; praticamente, até a morte de Piaget, sua teoria sofreu reformulações e assumiu posições mais compatíveis com os resultados mais recentes; por isso, é possível que ela possa ajudar na compreensão não somente da gênese e do desenvolvimento, mas também da permanência das noções espontâneas e de sua interação com as noções adquiridas<sup>[2]</sup>. Veremos, mais adiante, algumas sugestões a respeito.

O valor fundamental das primeiras obras de Piaget é ter descoberto e articulado o sistema cognitivo fundamental da criança, caracterizando-o como uma construção progressiva, realizada com a utilização de instrumentos mentais também em construção. A crítica mais contundente que pode ser feita a este esquema é que nele a criança, ao longo do crescimento, parece passar de um sistema prático, capaz de resolver os problemas que ela enfrenta, para um sistema ideal objetivo e único, representado pelas noções científicas; em nossa visão, as próprias noções científicas, a grosso modo, constituem um sistema ao mesmo tempo abstrato e prático, capaz de resolver os problemas que a Ciência encontra. Não se pode esquecer que as próprias noções científicas são uma mistura entre uma "heurística" mutável e uma experiência empírica mais estável, tendo como consequência que relações empíricas estáveis ou bem aproximadas podem conviver e serem incorporadas em enfoques, pressupostos e filosofias diferentes. Por isso, a passagem das noções "espontâneas" às noções científicas não é unicamente um problema de utilização adequada de estruturas mentais mais elevadas, mas envolve mudanças mais básicas de a priori

---

[2] O próprio Piaget, em sua resposta às críticas que Vigotsky fez de seus primeiros trabalhos, admite a importância da interação entre noções "espontâneas" e adquiridas, sobretudo para tornar o ensino da Ciência mais adequado (Vigotsky, 1966).

de tipo heurístico.

Este é o aspecto fundamental revelado pelas pesquisas sobre "concepções espontâneas" desenvolvidas em passado mais recente.

## 2. AS NOÇÕES "ESPONTÂNEAS" NAS PESQUISAS ATUAIS

O trabalho do grupo de pesquisa de Paris VII, que se iniciou nos primeiros anos da década de 70 e foi publicado, em sua forma mais extensa, perto do final da mesma, constitui um levantamento sistemático da presença de concepções "espontâneas" em manifestações escolares e extra-escolares, do pensamento de adultos. Através da utilização de testes e entrevistas adequadas, as pesquisadoras puseram em evidência duas idéias básicas: a necessidade de explicação (causal) do movimento, e sua absolutez e unicidade.

Viennot (1977) descobriu que a velocidade de um objeto é insistentemente associada a uma força correspondente, seja ela externa, seja ela interna (chamada de capital de força).

Esta idéia é tão enraizada, que os estudantes (de segundo grau ou de início da universidade) parecem utilizá-la em situações e de maneiras diferentes, sobretudo naquelas que envolvem raciocínios qualitativos.

Os sinais desta utilização foram encontrados:

- 1) Em representações diretas escritas, nas quais os estudantes costumavam colocar as forças na direção do movimento, independente dele ser constante ou não, retilíneo ou curvo.

Por exemplo: É comum representar o movimento de uma bola num campo gravitacional com as forças da Fig. 1.

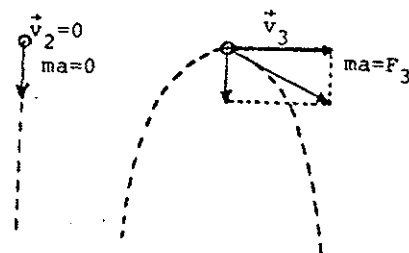


Fig. 1

- 2) Nas interpretações distorcidas do texto dos problemas, teleguiados pela noção de uma relação necessária entre força e movimento.

Por exemplo: No caso da Fig. 2, com movimentos diferentes das massas  $M_1$  e  $M_2$ , os estudantes justificavam a existência de forças diferentes a partir da invenção de elongações diferentes das molas. (O texto afirmava explicitamente que a distância entre massas e centro de oscilação era a mesma em ambos os casos).

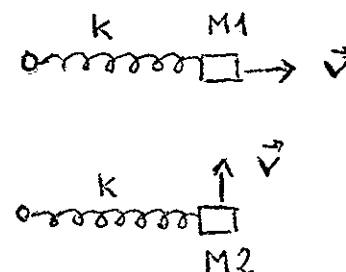


Fig. 2

- 3) Nas misturas e comparações arbitrárias entre forças e velocidades e energia.

Por exemplo: Em diagramas como na Fig. 3, que misturava força e velocidade, ou nas justificativas sobre a situação da Fig. 4, que pedia as condições para a massa abandonar a mola.

"A energia da mola (para cima) deve ser maior que a força exercida pela massa (para baixo)."

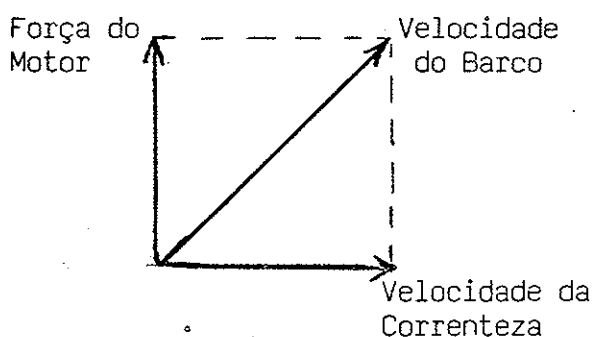


Fig. 3

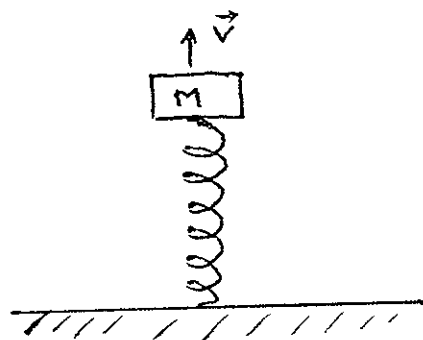


Fig. 4



- 4) Nas utilizações arbitrárias de princípios físicos como o de ação e reação, para obter uma resultante na direção do movimento.

Por exemplo: No mesmo problema anterior, temos a resposta:

"A massa se afastará da mola quando a reação da mola for maior que a ação da massa."

- 5) Nas utilizações ambíguas ou espontâneas de associações entre força e movimento, velocidade e potência, em entrevistas piagetianas com estudantes que revelam o pleno possesso de todas as operações mentais (Piaget, 1972).

Por exemplo, no choque entre bolas (Fig. 5):

A) A bola A empurrará a bola B e esta dará sua força às outras.

B) Por que a penúltima (C) não partiu?

A) Ela tinha a última na frente: ela deu sua força à outra e não tinha mais força para partir.

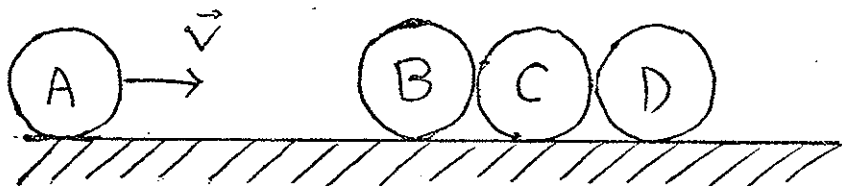


Fig. 5

- 6) Além das concepções espontâneas em estudantes pré-universitários e universitários, temos também vestígios delas nos livros didáticos ou de divulgação científica, através de explicações ambíguas. Exemplo típico é o tratamento do princípio de ação e reação, analisada somente em situações de equilíbrio onde a ausência de movimento está associada ao equilíbrio das forças; outro exemplo é a utilização da força "centrífuga" no tratamento do movimento circular ou do "peso aparente" nas variações de movimento.

7) Finalmente, um último lugar bem diferente, no qual é possível notar a influência de idéias semelhantes às encontradas nos estudantes é nas teorias do movimento dos séculos passados. O caso mais evidente é a teoria do "impetus" da escola de Paris, no século XIV: nela, o movimento de um projétil, uma vez lançado, se sustenta pela presença de uma força interna que vai-se esgotando ao longo do percurso.

Viennot resume sua análise das respostas dos estudantes num quadro que representa seu modelo (Tabela I).

Nome	Abrev.	Formulação do estudante	Tipo de grandeza	Localização	Modelo utilizado pelo estudante	Confusão força - energia
Força de interação	$\vec{F}_{ex}$	Força exercida sobre a massa	Orientada (vetor?)	Função de ponto, localização espaço-temporal	$\vec{F}_{ex} = m\vec{\gamma}$ $\vec{\gamma}$ : aceleração	NÃO
Capital de força	$\vec{F}_c$	Força da massa	Mista: escalar vetor	Ligada ao conjunto do movimento - deslocamento espaço-temp.	$\vec{F}_c = \alpha(\vec{v})$	SIM
Força de inércia ligada a mud. de ref.	$\vec{F}_i$	Força reação de inércia da massa	Orientada (vetor?)	Reação instantânea-localização temporal	$\vec{F}_i = -m\vec{\gamma}_E$ $\vec{\gamma}_E$ : aceleração de arrastamento	NÃO

Tabela I - Modelo espontâneo de força e movimento.

Esta tabela pode ser interpretada da seguinte maneira.

Nos exemplos típicos escolares nos quais são exigidos

dos essencialmente cálculos utilizando fórmulas adequadas, o raciocínio "espontâneo" não aparece ou se manifesta raramente; nos problemas nos quais a visão espontânea coincide com a visão científica, o aluno não tem dificuldade em utilizar o formalismo correto (quando força e movimento têm mesmo sentido e direção). As coisas se complicam quando os problemas, além de tornar-se mais qualitativos, envolvem situações nas quais força e movimento têm direções diferentes: nestes casos, aumentam sensivelmente as respostas "espontâneas" com a utilização de forças capitalizadas ou de forças-energias ou até com reinterpretação de princípios físicos (por exemplo, de ação e reação).

Finalmente, nos casos nos quais a utilização do formalismo não é imediata, o aparecimento de noções espontâneas é quase total (por exemplo, no choque entre bolas).

Em um trabalho análogo, E. Saltiel (1978) descobriu que a noção espontânea de movimento envolve sua unicidade e independência de observadores. O movimento é sempre ligado a um motor (interno ou externo) e se realiza num espaço absoluto, geométrico, no qual sua trajetória é congelada, seus pontos iniciais e finais "alfinetados" de forma imutável e sua velocidade absolutizada e representada proporcional à "força do motor".

Para elaborar esta visão, a pesquisadora utilizou principalmente respostas a **entrevistas**, nas quais os estudantes deviam fazer previsões sobre o movimento de um objeto enquanto analisado por dois observadores em movimento relativo, a **testes escritos**, envolvendo perguntas e desenhos de trajetórias em situações de ultrapassagem e arrastamento em duas dimensões, sempre do ponto de vista de observadores diferentes; utilizou também **comentários de estudantes**, (feito nas discussões a respeito de um fil

me sobre a mudança de referencial), reações de crianças (durante a participação a experimentos com movimentos relativos), protocolos de entrevistas piagetianas e, finalmente, material histórico sobre concepções científicas do movimento.

Tanto no trabalho de Viennot, como no de Saltiel, o mérito é dúplice: além de sistematizar e organizar as noções espontâneas num conjunto compacto, elas revelaram a presença destas noções em múltiplas situações, reforçando a suposição de que se trate de algo bem enraizado no pensamento dos estudantes e na divulgação científica comum.

A partir de 1979, a publicação de trabalhos sobre concepções espontâneas tem crescido geometricamente, e atualmente ocupa um espaço relevante em todas as revistas sobre Educação Científica.

McDermott (1983) tentou uma classificação do ponto de vista da metodologia e da técnica de pesquisa e encontrou uma grande dispersão.

Temos pesquisas com interação forte ou fraca entre estudantes e pesquisador, com interação forte ou fraca entre estudante e instrumento de pesquisa (computer, desenho, resposta escrita); temos pesquisas realizadas em uma ou muitas sessões consecutivas, com entrevistas orais e escritas, com feed-back experimental ou não, em situações de laboratório ou naturais. Temos pesquisas com grande ou pouca quantidade de material analisado, com populações diferentes ou homogêneas, com áreas de conhecimento ampla ou reduzida.

Certamente existem evidências mais do que suficientes de que os alunos mesclam concepções adquiridas e espontâneas em todas as áreas da Física e também fora dela; no entanto, o pro-

blema é o que fazer com este dado.

Dependendo da perspectiva do pesquisador, podemos, a grosso modo, classificar os trabalhos realizados da seguinte maneira:

- a) **Levantamento amplo e simples** das concepções dos estudantes em situações variadas: um exemplo disso é o trabalho de Watts (1981) sobre as idéias das crianças em relação à força.
- b) **Estruturação e articulação** das concepções em "modelos" espontâneos que representem de alguma maneira o tipo de raciocínio dos estudantes: são exemplos os trabalhos já citados do Grupo de Paris VII.
- c) **Hierarquização das concepções** em conjuntos ou modelos relacionados com as idades dos estudantes e sua evolução: um exemplo é a análise das concepções de luz e visão por Tiberghien (1980) e Guesne (1978) ou da transmissão de movimento (Mariani, 1986).
- d) **Análise histórica** das concepções científicas e sua comparação com as concepções espontâneas: um exemplo interessante é a análise das concepções pré-clássicas do movimento no século XIV até Galileu (Saltiel, 1985).
- e) **Tentativas de explicação** das concepções espontâneas em contextos teóricos mais amplos, como as teorias do conhecimento: por exemplo, o trabalho de Guidoni (1985), que tenta entender os resultados das pesquisas sobre concepções espontâneas no contexto do "pensamento natural" e de seu funcionamento.
- f) **Análise das conseqüências pedagógicas** das concepções espontâneas e propostas de tratamentos para sua modificação mediante o ensino. Por exemplo, a utilização de uma nova metodologia de ensino e de formação do professor que favoreça a mudança

conceitual de uma visão espontânea para uma visão clássica (Perez, 1985). Outro exemplo é o estudo de um caso específico de ensino do conceito científico de pressão num contexto bem definido (Nussbaum, 1981).

Esta classificação, que focaliza muito mais o resultado das pesquisas do que o método utilizado para obtê-lo, nos parece importante para discutir as linhas de pesquisa e suas perspectivas. Entretanto, antes de fazer isso nos parece importante complementar o quadro delineado com um rápido aceno aos pesquisadores de nosso país.

A partir do final da década de 70, também os pesquisadores brasileiros começaram a se interessar pelas concepções espontâneas e a realizar seu levantamento e articulação; no começo, tratava-se de colaboração com grupos estrangeiros, trabalhando junto com eles, como no caso da análise da concepção de força de Zylberstajn (1981) ou reproduzindo seus trabalhos, como no caso do nosso grupo (Villani, 1982) ou readaptando experiências já analisadas por Piaget (Santos, 1983).

Muitas outras pesquisas começaram também a ser realizadas em várias instituições do país<sup>[3]</sup>, porém, relativamente poucas chegaram a obter uma redação final num artigo ou numa dissertação. A função destas pesquisas foi principalmente de confirmar e comparar, de maneira exploratória, os resultados obtidos no exterior com as respostas dadas por estudantes brasileiros; isso traria como consequência não somente uma familiarização, mas também um treinamento na "arte" de análise de conteúdo.

---

[3] Para comprovar isso, basta folhear os resumos das apresentações nas Reuniões Anuais da SBPC e nos Simpósios Nacionais de Ensino de Física.

Não faltaram casos de real aprofundamento, mediante a introdução de questões novas, com testes em populações novas, com procedimentos novos, com interpretações novas.

Em nossa opinião, destacaram-se como mais interessantes, por apresentarem algum tipo de originalidade:

- A síntese e a interpretação, a partir da noção de movimento absoluto, de um grande número de resultados de pesquisas sobre as concepções de velocidade, aceleração, trajetória, força, energia, mudança de referencial, etc. (Villani, 1985).
- O estudo de material curricular e da interação em sala de aula a partir de um referencial conceitual que distingue entre "Ciência do cientista", "Ciência do currículo", "Ciência do professor" e "Ciência do estudante", e considera os possíveis resultados de suas interações. Também um estudo de caso a partir do mesmo ponto de vista, sobre a concepção de força e movimento (Zylberstajn, 1983).
- Um estudo sobre a concepção espontânea e sua interferência com o conhecimento acadêmico em estudantes pós-graduados em Física, em torno da noção de velocidade da luz (Villani, 1985).
- Um levantamento sistemático sobre a concepção de energia, com estudantes de 2º grau e a interpretação dos resultados a partir da análise das concepções científicas do passado e das concepções veiculadas nos livros didáticos (Terrazan, 1985).
- Um aprofundamento e complementação do modelo espontâneo de cinemática de Saltiel, mediante a introdução das categorias de "movimento em si" e "movimento para os observadores" e a caracterização das condições nas quais um observador teria uma visão "privilegiada" (real) do movimento (Hosoume, 1986).
- Uma análise comparativa das respostas de estudantes, do ponto de vista dos

- modelos espontâneos e das estruturas mentais utilizadas (Mariani, 1986).
- Uma tentativa de interpretação das concepções "espontâneas" num contexto teórico piagetiano (Saraiva, 1985).
  - A análise histórica da concepção de Entropia nos escritos de Carnot e Clausius e sua relação com as conceituações dos estudantes (Aurani, 1985).
  - O estudo da evolução das concepções dos estudantes em discussões com os professores em sala de aula (Ure, 1986).

### 3. TENDÊNCIAS E PERSPECTIVAS DA ÁREA

As pesquisas sobre concepções espontâneas, como já a cenamos, têm-se multiplicado nos últimos cinco anos, tornando-se, por assim dizer, as pesquisas da moda em Educação Científica; além de seu aumento numérico nos diferentes países e com diferentes populações e de ampliação do campo de pesquisa dos fenômenos estritamente físicos para os fenômenos que envolvem outros tipos de análise (ecológica, biomédica, sociológica) tem-se registrado também um aprofundamento da própria temática e metodologia de trabalho, privilegiando algumas tendências que nos parecem oferecer perspectiva para o futuro. Queremos sinalizar:

#### A) Perspectivas de pesquisas sobre temas específicos.

Tratam-se de pesquisas que aprofundam aspectos específicos. Em particular é relevante o tema das influências sobre a utilização e articulação das concepções espontâneas: idade, linguagem, tarefa, contexto sócio-cultural. Uma pesquisa em andamento em nosso grupo está levantando as diferenças nas respostas de estudantes italianos e brasileiros de mesma idade escolar, a



um teste idêntico sobre choque entre bolas de bilhar.

O campo mais fértil é a utilização das concepções es pontâneas na resolução de problemas e o detalhamento do mecanismo de interferência entre concepções científicas adquiridas e concepções espontâneas. Um trabalho pioneiro a este respeito é o de Di Sessa (1981), que levantou a hipótese de "protótipos" cognitivos com função heurística na resolução de problemas e como centro de convergência para a interpretação das respostas. Um outro trabalho interessante (Fauconnet, 1983), mostra a mudança das tendências das respostas dos estudantes na resolução de um problema de mecânica elementar, ao modificar "levemente" o contexto do problema.

Um outro tema específico em expansão é a utilização do computador para simular as possíveis respostas espontâneas dos estudantes.

#### B) Perspectivas de pesquisas metodológicas.

Os elementos essenciais que caracterizam as pesquisas sobre concepções espontâneas são os estudantes, as tarefas que devem ser desenvolvidas, o contexto no qual elas são realizadas e a resposta que os estudantes fornecem.

Bastante problemática é a síntese dos quatro elementos, pois, em geral, os resultados são apresentados com referência a imagens, modelos espontâneos, analogias, protótipos, esquemas, mediadores, etc. que se concentram em alguns elementos e deixam de lado outros.

Então, é necessário responder a perguntas do tipo (Workshop, 1983):

- Como caracterizar as diferenças e semelhanças nas tarefas exigidas? Como sintetizar as respostas? Em termos de estrutura física, de protótipos evocados, de comportamentos desenvolvidos ou de hipótéticas estruturas cognitivas subjacentes?
- Como analisar as respostas? Em termos de modelos a priori, ou selecionando as evidências fenomenológicas, ou sintetizando as inteiras respostas?

As perguntas podem ser ampliadas para questionar a natureza da relação dados-concepções espontâneas:

- Existe uma relação única entre respostas dos estudantes e concepções levantadas? Ou existe somente uma compatibilidade recíproca? Qual o significado de um esquema explicativo para situações diferentes?

Um trabalho interessante que enfrenta esta discussão é o de Viennot (1985); ele levanta o problema de um mediador entre as características das respostas dos estudantes e as características das situações-problemas a eles apresentados. Para a pesquisadora, a situação atual da pesquisa permite somente inferir uma função complexa, não-unívoca, dos hipotéticos mediadores; ela cita o caso do "capital de força" que serve para articular muitas respostas de estudantes em situações diferentes e o caso de respostas de estudantes que podem ser explicadas com diferentes mediadores<sup>[4]</sup>.

---

[4] Uma pesquisa em andamento, que poderá esclarecer em parte este ponto é a análise de um conjunto de dados por duas equipes diferentes de pesquisadores (São Paulo e Bologna) que atuam de maneira independente e diferente.

### C) Perspectivas de pesquisas teórico-sistemáticas.

Com este nome chamaremos as tentativas de unificação das representações dos estudantes em modelos teóricos que abrangem um determinado conteúdo (mecânica, eletricidade, termodinâmica, etc.). Um exemplo muito interessante é a síntese operada por Ogborn (1985) sobre a mecânica e que ele chama de "teoria do movimento do senso comum".

Esta teoria do senso comum é de tipo proposicional, no sentido de que os raciocínios sobre movimento podem ser inferidos a partir das sentenças que compõem a teoria. Por isso, deveria ser possível não somente explicar as idéias espontâneas dos estudantes, mas também antecipá-las em situações novas sobre movimento, principalmente utilizando o computador.

As sentenças básicas se referem aos conceitos primitivos: o de suporte e o de queda. A existência de suporte impede a queda do objeto e sua falta a explica; a Terra constitui o suporte permanente, que sustenta qualquer objeto, ao passo que outros suportes são limitados: a água sustenta parcialmente os corpos e o ar, menos ainda. O que qualifica o suporte é sua "resistência" e seu "esforço": a resistência do suporte é sua capacidade de absorver o peso do objeto que ele sustenta; no caso de objetos que se sustentam, como as aves voando ou os nadadores na água, sua característica é o esforço.

O movimento básico é o de queda, que é tanto mais rápido quanto maior for a altura e o peso do corpo que cai; entretanto, existem outros movimentos, na terra e no céu, contínuos e variados.

Para descrever o movimento são necessários outros dois conceitos básicos: o lugar e o caminho; o movimento consiste em

mudar de um lugar para outro, como quando se troca o lugar de um prato na mesa, ou em percorrer um caminho, como quando um carro se desloca numa rodovia; neste último caso, ele será localizado ao longo do caminho.

O movimento depende do esforço que é necessário para mudar de lugar, para mudar de caminho e para continuar no caminho.

Temos, assim, o esforço de um agente sobre um objeto (para mudar de lugar), o esforço de um objeto sobre outro (para manter ou mudar seu movimento) e o "esforço" do movimento para garantir sua continuidade (quando não existem outros agentes).

As idéias de força e de gravidade, apesar de não serem primitivas, podem ser introduzidas no esquema adquirindo significado dele. A força em geral é identificada como o "esforço" e a gravidade como uma fonte de "esforço" para a queda; o ar é o melhor candidato para esta fonte, pois ele exerce pressão sobre os objetos e também sabe-se que "aonde falta ar, falta também gravidade". É importante notar que as idéias de força e gravidade podem ser modificadas, por serem idéias opcionais, sem que o esquema anterior se altere; por isso, elas podem ser aprendidas e integradas facilmente a este esquema.

Este tipo de teoria, que se refere ao conteúdo das concepções espontâneas, é diferente das tentativas de explicação das mesmas em esquemas teóricos psicológicos ou epistemológicos; esta diferença não implica em contraposição, mas em complementariedade. No caso específico da teoria de movimento apresentada, ela é compatível com os esquemas de ação internalizada da teoria piagetiana; as idéias de esforço, mudança de lugar e caminho seriam as correspondentes às ações de deslocar, sustentar, correr, etc..

#### D) Perspectivas de pesquisas teórico-epistemológicas.

Com este nome chamaremos todas as tentativas de sistematizar e complementar os resultados empíricos sobre concepções espontâneas mediante uma teoria do conhecimento e da aprendizagem.

Três tipos diferentes de tentativas chamaram nossa atenção: a do grupo de Surrey, a de Guidoni e, no Brasil, a de nosso grupo.

A tese básica do Grupo de Construção Pessoal do Conhecimento, da Universidade de Surrey (Pope, 1985) é que o conhecimento é uma construção subjetiva, pessoal, ativa, criativa, racional e emocional; esta tese constitui a tentativa de reavivar a perspectiva psicológica e filosófica de Kelly (1955), proposta, sem muita ressonância, na década de 50.

Esta tese, que participa parcialmente da visão piagetiana de construção do conhecimento, afasta-se dela ao salientar o caráter fragmentário do conhecimento humano, que se modifica constantemente e tentativamente, para poder melhor se adaptar às circunstâncias e ao futuro.

O desenvolvimento conceitual dá-se mediante a progressiva diferenciação de estruturas conceituais em subestruturas organizadas e independentes, cuja integração hierárquica permite ao indivíduo a ampliação da possibilidade de adaptação cognitiva à realidade. Todavia, o caráter fragmentário destes subsistemas permite a elaboração de novas hipóteses e novas estruturações sem a necessidade de abandonar as antigas, mesmo sendo incompatíveis. Experiências conflitantes podem então levar à construção e adoção de subsistemas incoerentes, porém úteis em áreas diferentes, ou à utilização de subsistemas provisórias, na espera de uma integração futura ou, nos casos mais dramáticos, à rejeição dos con

flitos, quando estes aparecem demais ameaçadores para a visão global até então mantida. Dentro desse esquema é possível entender por que, às vezes, os estudantes utilizam concepções diferentes em contextos diferentes, às vezes, manifestam tentativas de integração entre noções espontâneas e adquiridas e, às vezes rejeitam ou reinterpretam as experiências que contrastam com suas concepções espontâneas.

O caráter individual do conhecimento de cada pessoa se manifesta na focalização de determinadas conceitualizações, na amplitude de suas abrangência de fenômenos incorporados, na permeabilidade às mudanças, na ordenação de suas concepções e na resistência de suas relações. Entretanto, sendo comum a fonte de construções, a experiência, isso envolve a possibilidade de áreas de significado também comuns, possibilidade ampliada pelo contexto social que tende a uniformizar as concepções das pessoas. As conseqüências práticas desta visão são importantes para o ensino de Ciência. A primeira é a existência na interação escolar de várias ciências: "a ciência do cientista", do "currículo", do "professor" e do "estudante". A interação entre elas explica as respostas diferentes ou semelhantes dos estudantes; a mediação entre elas é o pré-requisito essencial para o sucesso do ensino de Ciência, que pretende tornar aceitável a Ciência "dos cientistas" e "do currículo" para o estudante, sem no entanto torná-las verdades absolutas. Dentro desta perspectiva, é possível também encaixar a idéia de aprendizagem como "mudança conceitual" (Hewson, 1985), mantendo, no entanto, como ponto básico que a escolha final da melhor conceituação cabe ao próprio estudante e deve ser respeitada.

A tentativa mais sofisticada de explicação das concep

ções espontâneas é a de Guidoni, que procura interpretá-la dentro do contexto global do conhecimento: para ele, existem três sistemas cognitivos semelhantes, porém irreduzíveis: a percepção, o pensamento natural e a linguagem. Eles são semelhantes pelo processo radical de esquematização que utilizam, selecionando os elementos relevantes; eles são diferentes, pois seus conteúdos são diferentes e o crescimento do conhecimento se dá mediante um acordo ("fit") entre seus esquemas.

As concepções espontâneas são produtos do pensamento natural (Guidoni, 1985), cuja característica dominante é a estratégia da esquematização global: ele constrói esquemas, chamados de "protótipos", que são guardados na memória como entidades auto-existentes e têm a capacidade de incorporar o máximo de características repetitivas dos fenômenos analisados e de salientar as variáveis significativas. A utilização da lógica amplia o significado de cada esquema e a combinação entre eles permite lidar com fenômenos de complexidade crescente.

O autor distingue três tipos de protótipos, dependendo do nível cognitivo: os de nível fenomenológico, os de nível categorial e os de nível formal (Guidoni, 1984).

- Os protótipos do nível fenomenológico vão se formando a partir da interação com o mundo físico: por exemplo, no campo da mecânica, a partir da ação sobre objetos elásticos e não-elásticos formam-se alguns protótipos como o esquema "de tipo mola", ou "de tipo argila" ou "de tipo corpo rígido", mediante a superposição dos quais é possível tratar qualquer deformação de objetos. A adaptação constante, a nível fenomenológico, entre a "força" e a "deformação", introduz a estrutura básica do pensamento causal que vai distinguindo e construindo "as propriedades" do material e sua "forma" normal.

- Os protótipos do nível **categóric** se referem à maneira de olhar os fenômenos e começam a ser utilizados quando já é admitida uma forma "normal" dos objetos: a atenção dirige-se somente às deformações em relação à forma natural do objeto, e às análogas deformações dos objetos próximos. O mesmo tipo de categorização - forma natural, deformação, superposição, ... - utilizado para os objetos pode ser aplicado aos movimentos, incluindo como forma natural o movimento de "inércia" e olhando para suas mudanças a partir de referenciais inerciais. Por exemplo, em mecânica existe o "protótipo" de olhar para o sistema inteiro e não para as forças individuais, e isso leva naturalmente a explicar as deformações mediante sua correspondência em vários objetos. A maneira mais simples de qualificar esta correlação é a compensação equilibrante; se uma coisa se deforma num sentido, uma outra deve mudar em sentido oposto para poder descrever a interação como um equilíbrio instantâneo. O autor chama esta maneira de olhar de diferencial e a distingue de uma outra, a **integral**, que focaliza o lado causal da deformação, especifica em que sentido ela se dá, e ultimamente se relaciona com a percepção de transferência de energia na deformação.

O crescimento da organização dessas construções introduz "naturalmente" estratégias formais capazes de lidar com sua complexidade (como, por exemplo, a análise em termos de variações, de parâmetros).

- Ao nível da **formalização**, temos um processo cognitivo no qual uma forma não pertencente ao contexto, mas que é suficientemente conhecida, é adaptada ao próprio contexto, ou é reconhecida em presença de um fundo. A função do pensamento formal é de coordenar a inter-relação entre diferentes protótipos de nível



fenomenológico ou categorial. Por exemplo, em mecânica, a formalização coordena a nível fenomenológico protótipos de tipo estático e dinâmico mediante a introdução do pensamento por variáveis; analogamente, ao nível categorial, equilíbrio e conservação num choque de bolas são conciliados somente mediante um sistema formal. Estes sistemas são desenvolvidos mediante estratégias analógicas, e mediante sua composição e compensação.

Os protótipos do pensamento natural, cuja função é ligar comportamentos a contextos, têm duas características comuns: as de serem mais amplos do que os elementos locais e de não serem os únicos para lidar com uma determinada situação. Conseqüentemente, o pensamento natural se desenvolve controlando a extensão de seus esquemas (variando continuamente sua resolução ou modificando sua estruturação), e sua não-unicidade (mediante superposições adequadas). Neste último caso, a estratégia mais básica é a "analogia", que consiste na habilidade de olhar uma coisa como se fosse outra e de aderir coerentemente a este ponto de vista, trabalhando as ambigüidades.

A formação de protótipos de qualquer tipo obedece a duas tendências opostas: de um lado, a tendência a construções semelhantes guiada pela invariância dos fenômenos externos e dos esquemas culturais estáveis; do outro lado, a tendência à singularidade devido às flutuações pessoais e de contexto. Com o crescimento cognitivo, as flutuações podem amortecer ou se acentuar, e por isso é comum encontrar pessoas que pensam diferentemente em contextos iguais e é difícil influenciá-las.

Uma outra característica destes protótipos é de ser ortogonal às categorias científicas, por se constituírem de sínteses globais, por aparecerem em todos os níveis de pensamento, e

por se caracterizarem como maneiras de olhar os fenômenos. Além disso, eles não constituem uma teoria coerente do mundo físico, pois constituem, pelo menos ao nível fenomenológico, maneiras diferentes de esquematização às vezes incompatíveis. Por esta razão, para o autor, é criticável o tratamento do pensamento espontâneo no ensino, baseado na simples mudança do ponto de vista básico (do "protótipo"), ou na simples discussão dos pressupostos teóricos que sustentam as respostas espontâneas.

Uma terceira tentativa, brasileira, de compreender as noções espontâneas, é mediante a retomada da teoria de Piaget; abandonada a idéia de uma correlação estreita entre conceituação de um fenômeno físico e nível de estrutura mental, está sendo elaborada uma nova visão que articula as concepções espontâneas com a construção da causalidade pelos estudantes (Pacca, 1986).

Nesta perspectiva, através da independência, pelo menos parcial, entre as operações lógicas e o processo de descentralização, é possível explicar a persistência de noções espontâneas (normalmente baseadas em modelos absolutos de ação e movimento), mesmo na presença de níveis formais de raciocínio. De outro lado, as diferenças nas estruturas mentais são um ponto de partida interessante para explicar a diferenciação hierárquica entre as noções dos estudantes classificadas como "espontâneas" (Saraiva, 1985; Mariani, 1986).

#### E) Perspectivas de Pesquisas "Práticas".

Entendemos por este termo as tentativas feitas em sala de aula, com estudos de casos ou com aplicações de modelos mais gerais, de desenvolver um tratamento adequado das noções espontâneas.

Apesar dos primeiros resultados não serem muito encorajadores (Champagne, 1982) - o que eventualmente indicaria a não-suficiência do conhecimento sobre as noções espontâneas, e seus mecanismos de formação e utilização, o desafio não pode ser abandonado.

Na França, na Inglaterra e nos Estados Unidos multiplicam-se as experiências locais e localizadas, tendo em vista sobretudo o ensino da Mecânica e a formação de professores (Driver, 1985). No Brasil também já existem tentativas de aprofundamento da interação entre as concepções do professor e a dos estudantes (Ure, 1986).

Algumas indicações gerais de ordem pedagógica gozam de um relativo consenso (Zylberstajn, 1985):

- a) Os alunos tenham chances de explicitar (para si e para os outros) suas concepções.
- b) Estas concepções sejam analisadas e exploradas na sala de aula.
- c) Alguma forma de conflito cognitivo seja criada através de contra-exemplos, sempre que possível.
- d) A concepção científica clássica seja introduzida e aplicada em situações já conhecidas e novas.
- e) A concepção científica e as "espontâneas" sejam contrastadas e comparadas no que tange ao poder explicativo e limitações das mesmas.
- f) Preste-se muita atenção à relação entre a linguagem utilizada e as correspondentes concepções e se abandone o monopólio da mesma por parte dos docentes.

Apesar da necessidade premente de pesquisas em salas de aula, parece que o campo mais em desenvolvimento é o da forma

ção dos docentes pré- e in-terviço. Talvez na colaboração entre pesquisadores e docentes se abra uma nova perspectiva de ação para modificação do quadro generalizado do ensino de Ciência.

#### 4. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Neste capítulo, procuramos apresentar de maneira sintética uma área de pesquisa atualmente bem desenvolvida dentro da Educação Científica, seja do ponto de vista dos resultados mais importantes, seja do ponto de vista das perspectivas e das tendências mais significativas.

Vimos, no começo, que as concepções espontâneas são conhecimentos estruturados, elaborados pelas crianças a partir da interação com o mundo físico (Piaget); estes conhecimentos se modificam e se ampliam na medida em que novos instrumentos mentais e novas interações com o mundo físico e social questionam, em parte ou totalmente, as aquisições passadas. Vimos também que não existe continuidade, em geral, entre as concepções elaboradas pelas crianças e as adquiridas na escola; por isso, não é de estranhar a permanência das concepções espontâneas durante o período escolar, permanência que se revela não somente em respostas direta dos estudantes, mas também em artifícios indiretos que apontam para conflitos internos. Assim, a interação entre concepções espontâneas e adquiridas, apesar de pouco conhecida, leva a uma modificação na articulação das primeiras, que varia com a idade escolar, mesmo mantendo as características básicas do enfoque espontâneo e de sua maneira de tratar os fenômenos. Demos um grande destaque não somente aos resultados obtidos com as pesquisas

sobre as concepções dos estudantes, mas sobretudo, às perspectivas de trabalho que tentam sistematizá-las dentro do contexto da elaboração do conhecimento. Apesar de não existir atualmente nenhuma teoria que explique de maneira exaustiva o mecanismo e o desenvolvimento das noções espontâneas, várias tentativas, em progresso, se ocupam deste problema, cuja solução é fundamental para um tratamento adequado do conhecimento espontâneo na sala de aula. Aliás, as tentativas feitas até agora para provocar não somente uma tomada de consciência das noções espontâneas, mas também sua modificação, não têm dado resultados apreciáveis, indício este que confirma a importância do possesso de uma teoria básica do conhecimento "comum" e do papel das noções espontâneas.

As pesquisas históricas têm revelado analogias interessantes entre as concepções espontâneas e as concepções científicas do passado. Se juntarmos esta informação com a tese Kuhniana da volta cíclica de concepções básicas da natureza (estrutura contínua ou atomística da natureza, existência do vazio ou presença de um meio universal de transmissão dos efeitos físicos, visão simétrica ou privilegiada dos fenômenos físicos, etc.) poderemos concluir, pelo menos tentativamente, que as concepções espontâneas não constituem somente um obstáculo para aprendizagem científica, mas também uma fonte de repensamento da própria Ciência e de suas maneiras de explicar a natureza.

Nesta perspectiva, o conhecimento da história da Ciência e das características heurísticas das teorias científicas se torna um elemento indispensável para o professor que procure potenciar e explorar as concepções espontâneas dos estudantes.

Demos também destaque aos trabalhos brasileiros mais significativos, pois acreditamos que a presença crescente de pes

quisas no Brasil envolvendo concepções espontâneas é uma garantia de que as tentativas de modificação do ensino terão como ponto de partida os conhecimentos reais dos estudantes brasileiros e suas maneiras específicas de analisar os fenômenos físicos, sem, no entanto, desprezar as contribuições vindas do exterior.

Na apresentação das perspectivas e das tendências nas pesquisas, demos um destaque notável às tentativas de interpretação teórica das concepções espontâneas: isso revela nossa convicção de que este tema é de particular importância para a formação do professor, pois o tornaria capaz de sistematizar resultados presentes e futuros em relação à Educação Científica.

Acreditamos que o acoplamento da visão derivada da atividade de pesquisa com a experiência direta da sala de aula no ensino de segundo grau, acoplamento mediante uma interação sistemática entre pesquisadores e professores de segundo grau em cursos de reciclagem e em trabalhos de pós-graduação, levará a uma revisão do currículo da Licenciatura mais profunda e mais realista. O grande destaque dado não somente aos resultados das pesquisas, mas principalmente às maneiras e aos enfoques em conduzi-las, revela nossa convicção, já acenada na introdução, de que a elaboração de um currículo de Licenciatura em Ciência deve ter como patrocinador fundamental a prática da pesquisa em Educação Científica, sendo a área de noções espontâneas uma das mais significativas. Somente o tratamento sistemático da realidade educacional em Ciência pode evitar a perturbação de idéias "espontâneas" de ensino e aprendizagem na programação de atividades didáticas. Voltaremos mais adiante a este assunto. Por enquanto, concluimos este capítulo lembrando que a absoluta maioria dos resultados citados referem-se a estudantes de 1º e 2º graus ou no

começo da universidade. Somente acenamos aos resultados obtidos com estudantes que já terminaram sua formação acadêmica e que estão desenvolvendo atualmente pesquisas científicas de mestrado e doutorado. Dedicaremos o próximo capítulo a este tema não somente porque constitui a parte privilegiada de nosso trabalho de pesquisa, mas também porque nos fornecerá a ocasião para reflexões mais profundas sobre a formação de mestres e pesquisadores, e sobre os problemas a serem enfrentados pelas teorias de aprendizagem.

#### BIBLIOGRAFIA CITADA

- Aurani, K., "Ensino de Conceitos; Estudo das Origens da Segunda Lei da Termodinâmica e do Conceito de Entropia a Partir do Século XVIII", Dissertação de Mestrado, IFUSP-FEUSP, 1985.
- Battro, A.M., "O Pensamento de Jean Piaget", Florense, Rio de Janeiro, 1976.
- Champagne, A.; Klopfer, R.; Gunstone, R., "Cognitive Research and the Design of Science Instruction", Educ. Psych. 17(1) (1982) pp. 31-53.
- Di Sessa, A., "Phenomenology and the Evolution of Intuition", Working Paper 12, D.S.R.E., MIT, Cambridge, 1981.
- Driver, R., "Psicologia Cognitiva y Esquemas Conceptuales de los alumnos", Enseñ. de las Ciencias 4(1) (1986) p. 3-15.
- Fauconnet, S., "Étude de Resolutions de Problèmes Analogues", Recherche en Didact de la Physique, 1<sup>er</sup> Atel. Intern., La Londe 1983 (Ed. CNRS) pp. 261-269.

- Gilbert, J.K.; Swift, D., "Towards a Lakatosian Analysis of the Piagetian and Alternative Conceptions Research Programs", Science Education (1985) pp. 581-596.
- Guesne, E., "Lumière e Vision des Objets: Um Exemple de Representation des Phénomènes Physiques Pre-existant à L'enseignement" está em Delacôte (ed.), "Physics Teaching in Schools", Taylor and Francis, London, 1978.
- Guidoni, P.; "Mechanics for Everybody", GIREP, 1984.
- Guidoni, P., "On Natural Thinking", Eur. Jour. Sc. Educ. 7 (1985) pp. 133-140.
- Hewson, P.W., "Epistemological Commitments on the Learning of Science: Examples from Dynamics", Eur. Jour. Sc. Educ. 7 (1985) pp. 165-172.
- Hosoume, Y., "Proposta de um Modelo Espontâneo de Movimento", Tese FEUSP, 1986.
- Kelly, J., "The Psychology of Personal Construct", New York, Norton, 1955, citado em Pope, 1985.
- Mariani, M.C., "Concepções Espontâneas no Estudo das Colisões: Visão Geral e Interpretação", Memorial para Exame Qualificação IFUSP-FEUSP, 1986.
- McDermott, L., "Critical Review of Research in the Domain of Mechanics", Recherche en Didac. de la Physique, 1<sup>er</sup> Atel. Intern., La Londe, 1983 (Ed. CNRS) pp. 139-182.
- Nussbaum, J.; Novick, S., "Brainstorming in the Classroom to Invent a Model: A Case Study", School Sc. Review 62 (1981) pp. 221-230.
- Ogborn, J., "Understanding Students Understanding: An Example from Dynamics", Eur. Jour. Sc. Educ. 7 (1985) pp. 141-150.



- Pacca, J.L.A., "A Física Intuitiva e o Desenvolvimento da Causalidade", Trabalho para o Encontro de Pesquisadores, Curitiba, 1986.
- Perez, D.G.; Carrascosa, J., "Science Learning as a Conceptual and Methodological Change", Eur. Jour. Sc. Educ. 7 (1985) pp.231-236.
- Piaget, J. et al., "La Transmission des Movements", PUF, Paris, 1972.
- Pope, M.L.; Gilbert, J.K., "Constructive Science Education", es tá em Epting-Laudfield (eds.), "Anticipating Personal Construct Psychology", Univ. Nebraska, 1985, pp. 111-126.
- Saltiel, E., "Concepts Cinématiques et Raisonnements Naturels: ...", These, Univ. Paris VII, 1978.
- Saltiel, E.; Viennot, L., "¿Que Aprendemos de las Semejanzas en tre las Ideas Historicas y el Razonamento Espontaneo de los Es tudantes?", Enseñ. de las Ciencias 3(2) (1985) pp. 137-144.
- Santos, M.L.A., "A Interferência do Nível de Desenvolvimento Cognitivo na Aprendizagem de um Conteúdo de Física", Dissertação de Mestrado IFUSP-FEUSP, 1983.
- Saraiva, J.F., "A Teoria de Piaget como Sistema de Referência para a Compreensão da Física Intuitiva", Memorial para Exame Qualificação IFUSP-FEUSP, 1985.
- Terrazan, E.A., "A Conceituação Não-convencional de Energia no Pensamento dos Estudantes", Dissertação de Mestrado IFUSP/FEUSP, 1985.
- Tiberghien, A. et al., "Conception de la Lumière chez l'Enfant de 10-12 ans", Rev. Franc. Pedag. 50 (1980) pp. 24-41.
- Ure, M.C.D.; Colinviaux, D., "Discussão de uma Interação entre as Concepções do Professor e dos Alunos Adultos", Com. Coord. 38ª Reunião Anual da SBPC, 1986.

- Vigotsky, L.S., "Pensiero e Linguaggio", Giunti, Firenze, 1966 (con appendice di Piaget).
- Viennot, L., "Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire", These, Un. Paris VII, 1977.
- Viennot, L., "Analysing Students' Reasoning in Science: A Pragmatic View of Theoretical Problems", Eur. Jour. Sc. Educ. 7 (1985) pp. 151-162.
- Villani, A. et al., "Analisando o Ensino de Física: Contribuições de Pesquisas com Enfoques Diferentes", Rev. Ens. Física 4 (1982) pp. 23-51.
- Villani, A.; Pacca, J.L.A.; Hosoume, Y., "Concepção Espontânea sobre o Movimento", Rev. Ens. Física 7(1) (1985) pp. 37-45.
- Villani, A.; Pacca, J.L.A., "Spontaneous Ideas About Speed of Light", Public. IFUSP/P-524 (1985).
- Watts, D.M.; Zylberstajn, A., "A Survey of Some Children's Ideas About Force", Phys. Educ. 12(6) (1981) pp. 74-77.
- Workshop Proceeding - Research on Physics Education, "Comparative Analysis of Different Lines of Research", La Londe, 1983 (Ed: CNRS) pp. 609-613.
- Zylberstajn, A., "A Conceptual Framework for Science Education: ...", These, Univ. Surrey, 1983.
- Zylberstajn, A., "Concepções Alternativas e Ensino de Física", VI S.N.E.F., Atas (1985) pp. 78-90.

## V. NOÇÕES ESPONTÂNEAS APÓS A FORMAÇÃO

O grande número de pesquisas referentes a concepções espontâneas, bem como a variedade das situações nas quais elas foram detectadas, certamente deixa poucas dúvidas de que crianças e estudantes de segundo grau ou no começo da universidade, possuem um saber articulado, diferente do ensinado na escola e muito resistente à mudança.

Será que a formação universitária, com sua duração e com sua abrangência, é capaz de enquadrar adequadamente este tipo de conhecimento? Mais ainda, será que a prática da pesquisa científica, com sua intensidade, profundidade e envolvimento é capaz de instalar de maneira total o conhecimento científico e suas noções precisas?

As respostas a estas perguntas são decisivas para a elaboração de estratégias de ensino no segundo grau e na formação de professores, além de serem importantes para o próprio entendimento das concepções espontâneas. Alguns indícios interessantes podem ser encontrados nos relatos de treinamento de professores de Ciências de primeiro e segundo graus (Perez, 1985), nos quais as concepções espontâneas ainda têm um papel importante para explicar o comportamento de tais professores.

Entretanto, a resposta mais importante e mais fundamentada às perguntas levantadas acima pode ser encontrada nos resultados de duas pesquisas por nós conduzidas, com mais de uma

centena de estudantes de Pós-Graduação, já formados em Física e na época envolvidos em pesquisas científicas.

Neste capítulo relataremos estes dois trabalhos, cujos resultados, sem dúvida, confirmam a presença de fortes tendências a interpretar os fenômenos físicos de acordo com concepções ou esquemas muito semelhantes aos que denominamos de "espontâneos". Após a exposição das características comuns das pesquisas, relataremos os resultados da primeira, sobre velocidade da luz, e da segunda, sobre a transmissão de movimento em choques e elásticos. No final deste capítulo, procuraremos aprofundar o problema da formação de docentes. Os apêndices B e C relatarão detalhes das duas pesquisas.

## 1. A METODOLOGIA DE PESQUISA

Neste item, vamos expor a maneira de conduzir as duas pesquisas, juntamente com as características mais significativas das mesmas.

### As Hipóteses Básicas

Em ambos os casos, partimos da suposição de que os estudantes de pós-graduação, se interrogados sobre questões que não dissessem respeito ao trabalho de pesquisa por eles profissionalmente desenvolvido, e que envolvessem alguma forma de raciocínio qualitativo, deveriam utilizar uma bagagem intuitiva não totalmente moldada pelo conhecimento adquirido; não deveria ser improvável que várias idéias "espontâneas", já encontradas em pesquisas com estudantes de primeiro e segundo graus pudessem aparecer,

mesmo que "camufladas" com as idéias adquiridas durante a formação em Física.

A escolha dos temas das pesquisas deveria ser condicionada pelo conhecimento prévio de "modelos" espontâneos aos quais seria possível fazermos referências para interpretar o raciocínio de nossos estudantes. Um domínio dos "modelos" espontâneos, de primeira mão (obtido por pesquisa direta) seria certamente de ajuda no trabalho delicado de encontrar as idéias espontâneas dos estudantes pós-graduados, cuja linguagem mais técnica e sofisticada exigiria cuidado especial. Finalmente, a escolha de um conteúdo clássico e outro moderno, além de fornecer a possibilidade de uma comparação, daria maior segurança ao se concluir pela presença inequívoca de idéias espontâneas do mesmo tipo das encontradas no começo da formação.

#### Os Temas

Pelas razões acima expostas, escolhemos como temas de pesquisa a **Velocidade da luz** (ligado à Teoria da Relatividade Restrita) e a **Transmissão de movimento em choques elásticos** (ligado à Teoria Clássica Newtoniana).

Para enfrentar estas pesquisas tínhamos como referências básicas o modelo de Saltiel (1980), complementado por Hosoume (1984) para a cinemática "espontânea" e a mudança de referencial, e os modelos de Mariani (1985), para a transmissão de movimento em choques. Em ambos os casos tínhamos tomado parte da elaboração dos "modelos" diretamente e como orientadores das pesquisas; em ambos os casos tínhamos também, como guia suplementar, além dos modelos espontâneos, algumas concepções científicas do passado que sugeriam a utilização de idéias análogas às "espontâneas".

## Os Instrumentos de Pesquisa

Utilizamos em cada pesquisa dois problemas: um de solução mais imediata e outro que podia ser resolvido somente após o raciocínio mais articulado, sem no entanto serem necessários cálculos explícitos. Os problemas exigiam sempre respostas qualitativas objetivas (do tipo maior, menor ou igual) e a correspondente justificativa. A escolha de dois problemas nos foi sugerida pelos resultados dos trabalhos de Viennot, nos quais aparecia claramente que os problemas simples ofereciam respostas "espontâneas" evidentes, claras, ao passo que os problemas mais complexos apresentavam uma interferência entre conhecimento "espontâneo" e adquirido e, não raramente, o "camuflamento" do primeiro numa linguagem técnica.

A pesquisa sobre a velocidade da luz confirmou esta ocorrência; entretanto, a pesquisa sobre choques elásticos deu resultados em boa parte invertidos, mostrando uma "regressão" para idéias espontâneas explícitas muito mais nos problemas complexos (choque múltiplo) do que nos simples (choque simples).

## A População

A população alvo das duas pesquisas se constituiu de estudantes de pós-graduação em Física (Teórica e Experimental) e Ensino de Física, envolvidos em pesquisas para a obtenção do mestrado e do doutorado.

No caso da velocidade da luz, aproximadamente 65 alunos participaram da pesquisa, com 24 entrevistas no primeiro problema e 60 entrevistas no segundo problema (com vários casos de superposição). A distribuição dos estudantes em mestrado e em doutorado foi de 3 a 1 em favor dos mestrados; a distribuição

por áreas de pesquisa mostrou uma leve predominância de físicos teóricos, seguidos de experimentais e de pesquisadores em Ensino de Física.

No caso da transmissão de movimento, aproximadamente 85 estudantes participaram da pesquisa com 56 entrevistas no problema do choque simples e 59 no de choque múltiplo. A distribuição de estudantes entre mestrado e doutorado obedecendo aproximadamente à mesma razão, e a distribuição por área mostrou uma predominância de físicos experimentais.

### A Coleta de Dados

Em ambos os casos, a coleta de dados se deu mediante entrevista cuja duração média era em torno de meia hora (menos no caso do primeiro problema da velocidade da luz, que foi mais rápida); o entrevistador anotava sinteticamente as respostas dos estudantes, questionando eventuais inconsistências, e as devolvia sucessivamente até que encontrassem uma coerência satisfatória (para eles) no conjunto das respostas. Optamos por esta técnica, mais demorada, por estarmos procurando relatos e idéias não-impulsivas ou ditadas por mal entendidos momentâneos; queríamos idéias que tivessem passado pelo crivo da avaliação do próprio estudante, e capazes de refletirem visões ou "protótipos" bem enraizados no pensamento do mesmo. O abundante número de estudantes e, mais ainda, de entrevistas, de fato supriu a eventual perda de algumas intuições "espontâneas", rejeitadas posteriormente pelo entrevistado após a análise comparativa com o restante de suas respostas; sempre existia alguém que considerava satisfatoriamente articulado aquilo que outro tinha rejeitado como incompatível ou apressado.

Durante as entrevistas percebemos claramente que os problemas, por sua natureza qualitativa, quase sempre constituíam um desafio para o estudante, não pela complicação de sua solução formal, mas pelo conflito que criavam ao suscitarem alternativamente idéias aprendidas e idéias espontâneas: várias vezes ouvimos queixas em relação a uma formação pouco voltada para a utilização de modelos físicos em análises qualitativas.

### A Análise das Respostas

Em ambas as pesquisas ela foi dividida em duas fases, sendo a primeira reservada para dados quantitativos e a segunda para as justificativas dos estudantes.

Na primeira fase, mediante a análise quantitativa das alternativas escolhidas pelos alunos, era possível avaliar tendências, sendo de particular significado as que se distanciavam dos padrões newtonianos e relativísticos. No caso da pesquisa sobre choques, a análise chegou a levantar alguns tipos de correlações entre as respostas dos estudantes às várias questões, ampliando dessa forma a percepção das tendências espontâneas. Os resultados dessa fase constituíam o ponto de partida do problema a ser resolvido mediante a sucessiva análise qualitativa das justificativas apresentadas pelos estudantes.

Na segunda fase, a análise era realizada levantando algumas categorias empíricas até obter um quadro razoavelmente completo, capaz de dar conta de praticamente todas as respostas. Em seguida, as várias categorias eram articuladas de maneira a fornecer um ou mais modelos de explicação dos estudantes, ou um ou mais níveis de explicação dentro de um determinado modelo. No caso da velocidade da luz, obtivemos um único quadro dominado pela



idéia de movimento absoluto, mas com vários níveis de explicitação. No caso do choque, encontramos vários modelos, por sua vez articulados mediante um conjunto de dimensões significativas.

Finalmente, os modelos encontrados e as idéias centrais que os sustentavam eram comparados com os resultados das outras pesquisas sobre o mesmo tema, com estudantes de primeiro e segundo grau e início de terceiro grau.

Neste quadro, mereceu nota particular o acoplamento original das idéias relativísticas de contração e dilatação espaço-temporal, com as noções espontâneas de movimento absoluto. Também consideramos significativa a utilização de modelos primitivos de choques (o de "arrastamento" de uma bola por uma outra) somente nas circunstâncias de choques múltiplos, numa espécie de "regressão" defensiva frente à complexidade do fenômeno analisado.

## 2. IDÉIAS ESPONTÂNEAS SOBRE VELOCIDADE DA LUZ

A análise detalhada dos problemas e das respostas dos estudantes já foi apresentada (Villani, 1985). Resumiremos aqui os elementos mais importantes que caracterizaram os resultados e explicitaremos as conclusões. O texto dos problemas está no apêndice B1.

O problema sobre a distância começa propondo uma configuração simétrica em relação a uma antena A, envolvendo dois raios luminosos e dois trens que dela se afastam em direções opostas. As questões focalizam as distâncias entre fótons e trens vistas de observadores diferentes.

Os problemas sobre tempo envolvem a ida e volta de um raio de luz entre uma antena A e um espelho E, solidários, numa das versões, com um foguete relativístico, e na outra com a estação terrestre. Uma versão dos problemas tem alguma semelhança com os problemas de cinemática elementar que envolvem "arrastamento": no caso, o arrastamento da luz por parte do foguete.

As perguntas se referem à análise dos tempos de ida e volta, e das distâncias percorridas pela luz, vistas de dois observadores em movimento relativo (na estação terrestre e no foguete). As respostas quantitativas ao primeiro problema mostram que menos de 1/3 dos estudantes conseguiram responder coerentemente com o ponto de vista Galileiano ou Relativístico a todas as perguntas. O ponto que mais chamou a atenção foi a pretensa compatibilidade entre a invariância da velocidade da luz e a assimetria na distância entre fótons e trens, quando observada pelos trens (sendo que os fótons eram emitidas em direções opostas no mesmo lugar e instante da passagem dos trens).

No segundo problema, o índice de acertos em cada questão ficou em torno de 70% na maioria dos casos, mas o número de estudantes que realizaram as seis previsões coerentemente com a teoria da Relatividade não alcançou 30% do total.

A previsão mais significativa foi a da igualdade da distância percorrida pela luz, quando observada pelo foguete e pela estação terrestre, seja na ida entre Antena e Espelho, seja na volta.

A análise das justificativas reduziu ainda mais estas percentagens, pois revelou que algumas das previsões corretas eram acompanhadas de raciocínios incompletos ou misturados com noções "espontâneas".

No primeiro problema, a idéia geral, que sustentava grande parte das justificativas, era que a invariância da velocidade da luz significava unicamente um afastamento uniforme da luz nas duas direções. A velocidade dos trens nas direções opostas explicava por que os fótons não estavam à mesma distância dos trens. Era como se existisse uma única velocidade para a luz e para os trens, e uma única distância percorrida por eles, independentemente dos observadores estarem localizados na Antena ou nos Trens. Por isso, não causou nenhum problema a ambigüidade do texto que não especificava o referencial dos dados fornecidos.

No segundo problema, apareceu de maneira evidente a mistura de noções relativísticas e espontâneas: a distância percorrida pela luz não dependia do observador, a dilatação do tempo se dava somente quando o objeto se movimentava "realmente", simetrias formais se superpunham a uma visão espaço-temporal absoluta, as observações dos observadores eram considerados "reais" ou "aparentes", dependendo de sua condição de repouso ou movimento.

Podemos sintetizar as respostas dos estudantes como a realização da "escalada" do absoluto.

Em primeiro lugar, existem muitas respostas que desprezam totalmente a mudança do observador; tudo é fixo e idêntico: tempo de ida e volta; caminho da luz e sua velocidade. Existe uma única realidade caracterizada por parâmetros que são independentes dos observadores.

Uma primeira distinção entre diferentes observações é acompanhada de uma compensação expressa de várias maneiras: contração e dilatação da distância e/ou do tempo. Em conclusão, apesar dos detalhes serem diferentes dependendo do estudante, o in-

tervalo de tempo global e a distância global do caminho da luz de vem ser independnetes dos observadores.

Em seguida, temos as diferenças entre as várias observações, que tem como fundamento unicamente os efeitos relativís-ticos aplicados ao movimento absoluto do foguete. A distância percorrida pela luz é diferente para os observadores unicamente porque o foguete sofre uma contração devida a seu movimento; o fenômeno é essencialmente igual para todos os observadores.

Por isso, é simples utilizar o último argumento para salvar o absoluto; é verdade que as medidas são diferentes devido à Relatividade, mas, de fato, trata-se unicamente de efeitos "aparentes". A distância, velocidade e tempo reais são únicos, pois não dependem dos observadores.

A semelhança destas justificativas com as idéias que caracterizam o modelo "Natural" de Saltiel e Hosoume é evidente: a independência entre noções cinemáticas e sistema de referência, a utilização de um esquema tipo "arrastamento" para compor distâncias, as categorias de "real" e "aparente" para distinguir a visão do movimento verdadeiro das outras visões, a noção de movimento absoluto. Sempre presente, esta última noção constitui um ponto de partida promissor, não somente para entender as respostas aos testes aqui apresentados, mas também à grande maioria dos testes de Mecânica (Villani, 1985) que envolvem relações entre força, trajetória, velocidade e energia.

### 3. IDÉIAS ESPONTÂNEAS SOBRE CHOQUES ELÁSTICOS

Analogamente à pesquisa sobre a velocidade da luz, resumiremos neste item os pontos mais importantes e explicitaremos as conclusões da pesquisa sobre transmissão de movimento em choques, deixando a análise mais detalhada para o apêndice C. O texto dos problemas está no apêndice B2.

O problema sobre **choque simples**, tratava de várias situações de choque entre duas bolas em movimento e dois alvos parados; o interesse da pesquisa era detetar o papel das interações recíprocas entre as bolas e a influência das simetrias entre as massas. As perguntas eram de tipo fenomenológico (previsão de alcance e de sentido de movimento), e de tipo técnico envolvendo energias e impulsos transferidos durante o choque.

O problema sobre o choque múltiplo tratava de situações análogas às do choque simples, mas com um alvo múltiplo constituído por duas bolas paradas. As perguntas eram do mesmo tipo: em parte fenomenológicas e em partes técnicas, envolvendo as mesmas grandezas físicas. As respostas quantitativas ao problema sobre choque simples revelaram que aproximadamente  $1/3$  dos estudantes previam o comportamento das bolas incidentes e dos alvos de maneira compatível com a mecânica newtoniana aplicada a choques elásticos centrais.

Nas respostas às questões sobre transferência de energia somente  $1/6$  utilizou sistematicamente critérios compatíveis com a mecânica newtoniana, a maioria preferindo associar a transferência de energia unicamente à massa de bola incidente ou à velocidade do alvo.

Finalmente, nas respostas às questões sobre impulso,

obtivemos a redução das respostas "newtonianas" a 5%, com a grande maioria das respostas utilizando a relação direta entre massa incidente e impulso comunicado ao alvo.

Os principais resultados da análise quantitativa podem assim ser resumidas:

No choque simples, o alvo mais leve tende a ir mais longe, ao passo que a bola incidente tende a parar após o choque, a menos que a relação entre a massa incidente e do alvo seja bem maior ou bem menor que a unidade.

A energia do alvo é diretamente proporcional à massa incidente ou inversamente proporcional a sua própria massa, ao passo que o impulso fornecido depende fundamentalmente da massa incidente.

As respostas quantitativas ao problema sobre choque múltiplo revelam um aumento da previsão de volta da bola incidente, com um índice de acerto sistemático de 20%, que diminui para 8% na previsão do comportamento da bola intermediária (a volta dela numa das situações foi o que abaixou drasticamente o índice de acertos). Uma outra caracterização fenomenológica interessante foi o aparecimento do fenômeno de "arrastamento": a bola intermediária e a externa indo juntas num movimento único. Um único estudante respondeu corretamente às questões fenomenológicas no choque múltiplo.

As respostas sobre energia foram bastante complexas: prevaleceram os critérios apontados no choque simples, sugerindo proporcionalidade direta entre uma massa incidente e energia do alvo externo, ou inversa entre massa e energia do alvo. Nas questões sobre perda de energia da bola incidente, além de aparecerem dois critérios dominantes - a proporcionalidade entre a per-

da de energia da bola incidente e as massas das bolas incidente e do alvo total - apareceu pela primeira vez, a idéia de uma inelasticidade, pelo menos parcial, do choque: a energia perdida pela bola incidente não correspondia à energia transferida para o alvo e as duas obedeciam a critérios diferentes (1/4 dos estudantes utilizaram esta distinção em alguma das situações).

As respostas sobre impulso transferido apresentaram as mesmas características encontradas no choque simples, apesar da diminuição da proporcionalidade direta entre massa incidente e impulso transferido.

Os principais resultados quantitativos sobre choque múltiplo podem ser assim resumidos: no choque múltiplo, o alcance maior da bola externa se dá quando ela é mais leve e/ou quando a bola incidente é mais massiva; entretanto, aparece também a previsão de um alcance maior quando o alvo total é mais leve. A bola incidente tende a continuar em seu movimento, preferivelmente para trás, quando o alvo total for maior que ela. As bolas intermediárias tendem a se deslocarem para frente, permanecendo paradas somente em alguns casos, sendo que quando o movimento for para frente é possível ter um movimento conjunto entre bola intermediária e externa, numa espécie de "arrastamento". A energia da bola externa é proporcional a seu alcance: ela depende diretamente da massa incidente e/ou inversamente de sua massa ou da massa total do alvo. A perda de energia da bola incidente várias vezes é diferenciada da energia transferida para o alvo; depende diretamente de sua massa e/ou da massa total do alvo ou da massa intermediária, mas vale também o critério oposto de perda menor quando a massa do alvo for maior. Para o impulso transferido ao alvo os critérios são análogos: dependência direta da massa inciden

te e/ou da massa total do alvo, ou dependência inversa desta última. Nenhum estudante respondeu corretamente a todas as questões.

As justificativas das previsões elaboradas pelos alunos, em grande parte, confirmam e detalham as idéias levantadas mediante análises quantitativas, permitindo uma interpretação global mediante vários modelos de interação.

No choque simples, as idéias espontâneas dos estudantes podem ser articuladas em dois modelos radicais, sendo possível em vários casos algum tipo de mistura.

O primeiro modelo, que chamaremos de "enfoque de transmissão", descreve e explica o choque da seguinte maneira: a bola incidente, ao descer do plano inclinado, adquire movimento, possuindo uma certa quantidade dele, na forma de "energia" e/ou "quantidade de movimento". Com o choque, a bola incidente passa sua "energia" para o alvo; esta "transmissão" pode ser parcial ou total. Normalmente, ou seja quando bola incidente e alvo não forem muito diferentes, a transmissão é total, a bola incidente pára e o alvo adquire toda a energia/quantidade de movimento da bola incidente. Conseqüentemente, bolas incidentes iguais transferem a mesma energia e dão o mesmo impulso para o alvo, mesmo que ele seja diferente. Este terá velocidade maior ou menor, dependendo de sua massa. Finalmente, terá alcance maior a bola de menor massa ou de maior energia.

No caso de uma diferença significativa entre as massas das bolas incidentes e do alvo, teremos uma transmissão parcial: a bola incidente não consegue passar toda sua "energia" para o alvo, então continua no seu movimento ou para frente, quando o alvo for pequeno, ou para trás, quando o alvo for muito grande.



Nesta visão totalmente "escalar" do choque, o ponto essencial é que a quantidade de movimento "passa" de uma bola para outra num esquema de conservação.

O segundo modelo, que chamaremos de "enfoque de produção", descreve e explica o choque da seguinte maneira: a bola incidente, ao descer o plano inclinado, adquire movimento e portanto "força de impacto", que evidentemente depende da sua massa. Ao se chocar com o alvo parado, dá-lhe um impulso para frente, de forma que ele saia com velocidade tanto maior quanto mais leve ele for. O movimento da bola incidente, após o choque, dependerá totalmente da bola alvo e da resistência por ela oferecida. Se o alvo for menor, não conseguirá frear a bola incidente; se o alvo for igual, a bola incidente será totalmente freada; se o alvo for maior, a bola incidente ou será freada totalmente ou até será "empurrada" para trás, num esquema de reação que tem alguma semelhança com o princípio de ação e reação.

Neste segundo modelo, a idéia básica é a força ativa feita pela bola incidente e a resistência ou reação, em sentido contrário, da bola alvo. A única diferença com o esquema newtoniano é que ação e reação não estão ligadas por um princípio de conservação. A ação depende da bola incidente e será tanto maior quanto maior for sua massa; analogamente, a reação. No caso de alvo maior, a reação será maior do que a ação e conseguirá empurrar a bola incidente para trás; em caso contrário, conseguirá, no máximo, parar.

Cada um dos enfoques encontra dificuldades na sua tentativa de explicação; o modelo de transmissão não explica muito bem como a bola pode voltar, qual o impulso dado ao alvo, e também como pode acontecer da Q.M. do alvo ser maior do que a da bo

la incidente.

O modelo de "produção" tem dificuldades em prever a energia do alvo a partir do movimento da bola incidente e também seu impulso, pois não existe uma ligação entre a ação da bola incidente e a reação do alvo.

É interessante notar que é bastante comum encontrar o modelo de "transmissão" puro, mas não é comum encontrar o modelo de "produção" puro, pois a grande maioria dos estudantes usa alguma forma de conservação da Energia e/ou da Q.M.; se excluirmos as (raras) respostas totalmente newtonianas, parece que existe um grande grupo que utiliza uma combinação dos modelos espontâneos de transmissão e produção. Um exemplo típico é o seguinte:

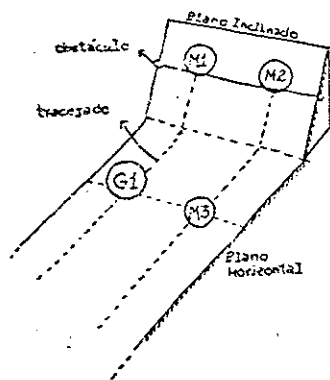


fig1

"No choque entre duas bolas médias (M1 e M2) respectivamente com uma grande (G1) e uma média (M3), esta última vai mais longe que G1, pois tem maior velocidade e energia; de fato, M1, ao se chocar com G1, que é maior, será empurrada para trás com força maior do que a que ela exerce sobre G1. G1 e M3 receberão o mesmo impulso, pois as bolas incidentes são iguais, mas M3, sendo mais leve, conseguirá maior velocidade e energia. De fato, M1, ao voltar, não passará toda sua energia para G1, ao passo que M2, ao bater numa igual, passará toda a sua energia e parará." (Figura 1).

A impressão que se tem ao analisar este tipo de respostas, é que o aluno conseguiu assimilar a idéia de conservação da energia estudada na escola, interpretando-a de acordo com o modelo de transmissão; a conservação da Q.M. adquiriu um caráter escalar, e o princípio da ação e reação foi "adaptado" para explicar o comportamento da bola incidente frente ao alvo.

As idéias dos estudantes levantadas nas questões fe-

nomenológicas sobre choque múltiplo podem ser articuladas em três modelos: o primeiro, que chamaremos de "choque independente", focaliza a interação independente entre bola incidente e intermediária e a interação entre esta última e a externa; o segundo modelo focaliza o choque da bola incidente com o alvo total e, finalmente, o terceiro modelo considera a bola intermediária como mera transmissora entre a bola incidente e o alvo.

Os detalhes do comportamento da bola incidente são os mesmos encontrados nos choques simples: parada sistemática, para quando o alvo for maior ou igual, continuação sistemática para frente, volta quando o alvo for maior.

Dentro do modelo "choque com alvo total" existem duas possibilidades: o alvo continuar como se fosse uma única bola, praticamente sem interação entre seus componentes, ou se diferenciar após o choque, com as duas bolas tendo velocidades próprias. O choque da bola incidente com o alvo total é regulado pelos mesmos mecanismos do choque simples, assim como o choque entre a bola intermediária e a bola externa, no modelo de interações independentes.

Finalmente, no modelo de "transmissão pura" (que é utilizado por menos pessoas), admite-se a possibilidade de uma transmissão em repouso (a bola intermediária fica parada, a incidente pára ou volta e a bola externa fica parada ou sai com velocidade), e de uma transmissão em movimento (a bola intermediária é simplesmente "arrastada" pela bola incidente e não se destaca dela).

As idéias sobre energia e impulso, sobretudo as que sustentam a proporcionalidade entre perda de energia e aumento da massa do alvo, e a diferenciação entre perda de energia e sua transmissão

(idéias incompatíveis com o choque elástico clássico), sugerem a visão espontânea de um choque com um certo componente inelástico no sentido de que a velocidade da bola incidente após o choque será tanto menor quanto maior for o obstáculo. Ao contrário, a idéia de que a transmissão da energia e do impulso depende, ou diretamente da massa da bola incidente ou inversamente da massa do alvo, sugere a interpretação de energia e impulso como "movimento", que passa mais facilmente quanto mais leve for o alvo ou quanto "mais força fizer" a bola incidente; esta idéia já foi encontrada na análise do choque simples.

Resumindo, então, nossa análise sobre as idéias espontâneas do choque múltiplo entre bolas de bilhar, podemos delininear um quadro com três dimensões ou aspectos fundamentais:

- a) o alvo específico do choque da bola incidente;
  - b) o mecanismo de transferência de energia e impulso;
  - c) a elasticidade do processo.
- a) **O alvo específico** pode ser a bola intermediária, a bola externa ou o alvo total: neste último caso, pode ou não haver diferenciação sucessiva entre as bolas. Quando o alvo for a bola externa ou o conjunto das bolas, aparece o fenômeno novo do "arrastamento".
- b) **O mecanismo de transferência de energia e/ou de momento**, analogamente ao caso do choque simples, pode diferenciar ou não as características (escalares ou vetoriais) das duas grandezas e pode ter sucesso ou não em produzir movimento no alvo.

Quando não há diferenciação entre energia e impulso, o processo é concebido como transmissão de algo genérico, ligado ao movimento, e de natureza escalar: a bola incidente possui esta quantidade e a passa para o alvo. Quando há diferenciação enta

tre energia e impulso, no sentido de que aparecem ações e reações orientadas, não é garantido o uso de um esquema newtoniano: o mais provável é o esquema misto "espontâneo" de "produção" e "transmissão", encontrado no choque simples, com as ações diferenciadas das reações.

O aumento da massa do alvo total facilita o aparecimento de uma tendência já encontrada no choque simples: quando o alvo for bem maior que a bola incidente, esta não consegue transmitir muita energia ou imprimir muito movimento. No caso do choque múltiplo, é possível encontrar casos extremos de eficácia nula, ou seja, de alvos que não se movimentem.

"Produção" e/ou "transmissão" regulam, analogamente ao caso do choque simples, o movimento de bolas intermediária e incidente.

A bola intermediária tende a avançar por causa do impacto que recebe; quando ela servir de transmissora do movimento para a bola externa, pode ficar parada e, dependendo da sua massa, pode absorver ou transmitir totalmente o movimento.

O movimento da bola incidente é análogo ao caso do choque simples: dependendo da transmissão ou da resistência do alvo no qual ela age, poderá avançar, recuar ou parar. A duplicação das bolas do alvo tem como efeito um aumento significativo da previsão de recuo da bola incidente.

- c) **Uma terceira dimensão** que assume importância no choque múltiplo é a elasticidade do choque. Normalmente, ela é total, e isso significa que a perda de energia da bola incidente é exatamente a energia que o alvo recebe, mas não faltam exemplos de elasticidade parcial; há situações nas quais a energia transferida para o alvo é diferente da energia perdida pela bola in

cidente. Não somente os estudantes expressam esta idéia, mas também indicam critérios para as duas: a bola incidente perde tanto mais sua energia quanto maior for o alvo, ao passo que a transferência de energia é proporcional à massa da bola incidente e/ou inversamente dependente da massa do alvo (quanto menor for ele, maior será sua velocidade) ou algumas vezes, sobretudo no esquema de "transmissão", diretamente proporcional à capacidade de receber do alvo (quanto mais semelhante ele for, melhor será a transmissão).

Concluindo então nossa análise do choque múltiplo, podemos levantar três conclusões importantes ao compará-lo com o choque simples.

Em primeiro lugar, a utilização de esquemas análogos e de maneiras análogas para focalizar o choque: "transmissão" e "produção", conservação e ação e reação, enfoque escalar e vetorial, eficácia total ou parcial ou até nula do choque.

Em segundo lugar, o aparecimento de idéias novas geradas pela nova situação: a possibilidade de ter choque envolvendo a bola incidente e intermediária, ou bola incidente e alvo total ou bola externa com mediação passiva da intermediária.

Em terceiro lugar, o aparecimento de idéias novas não diretamente ligadas à situação nova: a modalidade de "arrastamento" entre a bola incidente e intermediária, ou entre bola intermediária e alvo externo e a modalidade de transmissão inelástica, com uma perda de energia da bola incidente diferente da energia adquirida pelo alvo. Estas idéias não são conseqüências imediatas da multiplicidade do alvo, pois dizem respeito ao choque enquanto tal.

É interessante perguntar-se por que elas aparecem so

mente no choque múltiplo e não no choque simples. As respostas dos alunos não dão pistas evidentes para isso, mas as **impressões gerais** surgidas nas entrevistas, sobretudo se articuladas com os resultados de pesquisas análogas com estudantes de segundo grau, podem dar algumas sugestões a respeito.

Em trabalhos recentes sobre idéias espontâneas na transmissão do movimento (Mariani, 1985), as idéias mais fundamentais foram:

- a) A existência de modelos de choques do tipo "arrastamento", "produção" e "transmissão total ou parcial", junto com sua presumível hierarquização em modelos mais primitivos e mais dependentes da escolaridade.
- b) A existência de uma "eficácia" reduzida por parte da bola incidente e de uma "elasticidade" incompleta, sobretudo em presença de alvos maiores.
- c) A utilização não-conservativa do princípio de ação e reação.
- d) A associação entre energia e massa (consideradas como capacidade de armazenamento) e entre energia e movimento (consideradas como entidades substanciais capazes de serem gastas ou transmitidas) (Terrazan, 1985).

A análise das justificativas dos alunos de pós-graduação revela características semelhantes: no entanto, no choque simples não aparecem algumas idéias mais "primitivas" como o "arrastamento" e a inelasticidade, e também a idéia de "produção" de movimento é quase sempre associada a algum tipo de conservação escalar de energia e/ou quantidade de movimento.

Como já notamos, estas idéias mais "primitivas" aparecem no choque múltiplo sem que exista uma razão evidente no con

texto da situação | problema que explique este fenômeno.

A impressão geral das entrevistas, confirmada pelo número bem menor de respostas sistematicamente corretas, sugere que a nova situação-problema com choques múltiplos tenha apresentado maiores dificuldades de utilização de esquemas formais: de fato, nenhuma fórmula podia ajudar a localizar o alvo próprio da interação e isso deixava os estudantes mais inseguros e mais permeáveis a sugestões internas de utilização de idéias intuitivas numa espécie de "regressão" a interpretações mais primitivas.

Se nossa interpretação for correta, isso significa que os esquemas formais aprendidos na escola têm um "território" bem definido, onde eles podem exercer seu domínio e desarticular as idéias espontâneas: este território é dado pelas situações problemas enfrentadas e resolvidas na escola, situações nas quais as fórmulas, mais do que os modelos "físicos", são de auxílio. Apesar de terem sido debeladas firmemente nestes territórios, as idéias intuitivas não parecem ter desaparecido, permanecendo num estado latente, quase endêmico, prontas a reaparecer frente a qualquer deslize ou incerteza do estudante.

#### 4. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Certamente as duas pesquisas apresentadas neste capítulo e nos apêndices têm mostrado abundantemente e detalhadamente a presença de um conjunto de idéias, diferentes das aprendidas na escola durante a formação dos estudantes de pós-graduação. O número de estudantes entrevistados, seu currículo e sua familiaridade com a pesquisa não deixam dúvida de que não se trata de



um acidente de percurso. A semelhança com idéias apresentadas por estudantes de segundo grau ou no início da formação, a possibilidade de articular estas idéias num discurso "quase" coerente e, sobretudo, a estratégia de adaptação ou coaptação das noções adquiridas, além de constituir um sinal evidente do enraizamento deste tipo de construção conceitual, é uma prova, também evidente, da inadequação da formação em Física.

Mais do que isto, esta inadequação tem uma caracterização bem específica: não se trata de falta de domínio do instrumental matemático, pois muitos dos entrevistados estavam trabalhando em Física-Matemática, e quase todos tinham passado por muitos cursos sofisticados de pós-graduação (onde o treino básico é constituído pela resolução de problemas às vezes complicados do ponto de vista formal). A origem das dificuldades é a falta de idéias básicas capazes de articular rapidamente modelos grosseiros, mais compatíveis com as teorias ensinadas e seus princípios fundamentais do que as idéias espontâneas. O ensino da teoria da Relatividade Restrita começa supondo que o estudante domine completamente a Relatividade Galileiana. Provavelmente os estudantes dominam as fórmulas de transformação, mas não seu espírito, e sobretudo sua incompatibilidade com a noção de referencial absoluto e de movimento absoluto independente de observadores. A construção da intuição Relativística Einsteiniana deveria ter como ponto de partida uma intuição relativística galileiana; de fato, a Relatividade Especial é mais abstrata, pois é mais radicalmente relativa e mais distante da experiência cotidiana.

A ausência desta intuição relativística Galileiana se manifestou também nos testes sobre choque: não somente pouquíssimos estudantes utilizaram o recurso de uma mudança de referencial

para analisar o choque entre bolas e perceber a semelhança entre algumas situações, mas a própria noção de ação e reação, cada qual associada a uma bola com sua respectiva massa e não à relação entre as massas, foi totalmente "adomesticada" num contexto absoluto ou absolutizante.

As idéias espontâneas sobre mudança de observador e choque entre bolas parecem ser sintetizadas fundamentalmente pela absolutização e substancialização do movimento e pela absolutização da ação.

A primeira idéia, que se expressa dizendo que o movimento é algo em si e que ele pode passar de um corpo para outro deixando o correspondente vazio no primeiro, torna imediata não somente a invariância da velocidade da luz, ou a contração relativística das distâncias mas também se ajusta à interpretação da conservação da Q.M. e/ou da Energia, identificadas com entidades que expressam o movimento.

A segunda idéia, que se expressa na proposição de que a ação de um corpo sobre outro somente depende de suas características, não somente é fortemente ligada à anterior (um movimento absoluto deve ter uma causa absoluta), mas consegue "assimilar" a lei newtoniana de ação e reação associando a ação à massa da bola agente, e a reação às características do alvo; o caso mais dramático se dá quando o alvo é considerado puramente passivo, como no caso do "arrastamento" ou da transferência passiva de movimento pela bola intermediária, no choque múltiplo.

Três pontos fundamentais, merecedores de um aprofundamento maior, constituem o destaque desta conclusão e abrem problemas importantes a serem resolvidos numa proposta de currículo.

- 1) A idéia de absolutização da ação sugere uma visão característica da explicação física: ela consiste fundamentalmente em procurar as causas e os agentes dos fenômenos, explicando os efeitos a partir das características dos agentes.

Esta visão, chamada de causalidade "heterogênea" ou "eficiente" (Halbwachs, 1971), é bem diferente da visão formal na qual as leis físicas descrevem os fenômenos de um ponto de vista simétrico, sem agente e paciente, e é característica das teorias mais antigas sobre movimento.

O ensino atual se preocupa com as leis modernas da Física mas, na maioria das vezes, esquece de salientar as maneiras modernas de analisar os fenômenos e de interpretá-los. Desta maneira, atinge somente em parte as idéias espontâneas que parecem ser geradas e desenvolvidas pelas crianças a partir da interação com o mundo físico e da atribuição da causalidade aos fenômenos físicos, obedecendo a critérios totalmente diferentes dos utilizados na Ciência Moderna (Saraiva, 1985).

- 2) A presença e persistência "endêmica" das concepções espontâneas no raciocínio dos estudantes aponta para a necessidade de que o ensino de Ciência na escola dedique uma atenção especial à relação entre as noções espontâneas e a Ciência ensinada, a fim de que esta última receba uma interpretação correta.

Para que as idéias espontâneas passem de visão de "fundo" permanente e intuitiva sobre os fenômenos físicos à hipóteses questionáveis sobre os mesmos, é necessário que a ação pedagógica encontre maneiras de relativizá-las discutindo suas capacidades explicativas.

Em outras palavras, é necessário que as idéias espontâneas possam ser confrontadas, em pé de igualdade, com as idéias

ensinadas e, para tanto, faz-se necessário encontrar um terreno comum, ainda não dominado por nenhuma das visões, e no qual se dê algum confronto.

- 3) Também é importante não esquecer que as idéias gerais que muitas vezes sustentam as concepções "espontâneas" não foram totalmente banidas da Física: não somente a história nos ensina que as idéias básicas se modificam com idas e vindas cíclicas, mas também áreas diferentes são tratadas com idéias diferentes. O caráter absoluto de algumas noções, apesar de incompatível com os tratamentos reversíveis e simétricos, não é incompatível com alguns fatos básicos que regulam o desenvolvimento do universo; sua expansão no tempo, sua origem singular, o caráter irreversível de alguns de seus fenômenos, o aumento de entropia são apenas alguns dos exemplos que precisam ser pensados ao pretendermos tratar as conceituações espontâneas dos estudantes.

#### BIBLIOGRAFIA CITADA

- Halbwachs, F.; Kuhn, T.S.; Piaget, J.; Bunge, M.; Rosenfeld, L., "Les Théories de la Causalité", EEGG, XXV, PUF, 1971.
- Hosoume, Y., "Elaboração de um Modelo de Cinemática Espontânea", Memorial para Exame Qualificação, FEUSP, 1984.
- Mariani, M.C.; Villani, A., "Noções Espontâneas na Transmissão dos Movimentos, VI SNEF, 1985, Atas pp. 213.
- Perez, D.G.; Carrascosa, J., "Science Learning as a Conceptual and Methodological Change", Eur. Jour. Sc. Educ. 7 (1985) pp. 231-236.
- Saltiel, E.; Malgrange, J.L., "Spontaneous Ways of Reasoning in Elementary Kinematics", Eur. Jour. Phys. 1 (1980) pp. 1325-1355.

- Saraiva, J.F.; "A Teoria de Piaget Como Sistema de Referência Para a Compreensão da Física Intuitiva", Memorial para Exame Qualificação, IFUSP-FEUSP, 1985.
- Terrazan, E.A., "A Conceituação Não-convencional de Energia no Pensamento dos Estudantes", Dissertação de Mestrado, IFUSP-FEUSP, 1985.
- Villani, A.; Pacca, J.L.A.; Hosoume, Y., "Concepção Espontânea sobre Movimento", Rev. Ens. Física 7(1) (1985) pp. 37-45.
- Villani, A.; Pacca, J.L.A., "Spontaneous Ideas About Speed of Light", Publicações IFUSP/P-524 (1985).

## VI. AS DICOTOMIAS DO ENSINO

Para continuar nossa análise crítica da visão "comum" de ensino, é necessário também fornecer os dados das contribuições tecnológicas, metodológicas e de conteúdo à melhoria da prática do ensino de Ciência.

Como já acenamos no primeiro capítulo desse nosso trabalho, a visão "comum" de ensino de Ciência, provavelmente devido às características de seu conteúdo, privilegia o professor como "transmissor" de conhecimentos, principalmente mediante a palavra; por esta razão, na formação do professor, é dado um enfoque especial ao domínio do conteúdo por parte do formando, de maneira que suas aulas se tornem claras e coerentes e facilitem sua assimilação correta por parte dos estudantes.

Evidentemente, esta visão tem uma base empírica em situações de aprendizagem especiais, não somente da longínqua época da escola peripatética aristotélica ou das universidades medievais (nas quais o mestre era a única fonte de saber e a convivência com ele o maior estímulo para o aprofundamento da aprendizagem), mas também das escolas atuais mais rudimentares (onde o professor permanece a fonte quase exclusiva do conhecimento).

Entretanto, nas últimas décadas tem-se multiplicado a produção de subsídios, sobretudo na área de ensino de Física, não somente para facilitar a missão do professor de informar seus alunos, mas também para questionar e modificar, em parte ou total

mente, sua postura didática.

Classificar e descrever todas as contribuições, às vezes complementares e às vezes conflitantes oferecidas nesta área, é tarefa sumamente ingrata, não somente pelo volume de material a ser analisado, mas sobretudo pelas peculiaridades de cada um, do ponto de vista do contexto que os tem gerado, das idéias mestras que os tem norteado, e das finalidades às quais se tem destinado.

Nosso propósito, bem mais modesto, será introduzir alguns critérios, mais ou menos grosseiros, que permitam uma visão global e dêem indicações para entender as características mais significativas e orientar em sua análise. Nossa finalidade é captar o significado que o esforço notável desenvolvido na área tem para a formação do professor.

Neste capítulo, faremos uma análise fenomenológica dos problemas da prática do ensino, que fornecerá alguns critérios do mesmo tipo para a classificação do material didático utilizado na melhoria do ensino de Ciência; em seguida, aprofundaremos nossa análise tentando detalhar os enfoques mais significativos que têm gerado os subsídios didáticos e, em particular, esboçaremos alguns critérios de avaliação para os grandes projetos nacionais e internacionais e apresentaremos algumas conclusões a respeito.

## 1. OS SUBSÍDIOS PARA A SALA DE AULA

Ao observar a prática atual do ensino de Ciência, três dimensões fenomenológicas chamam nossa atenção imediata: o sujei

to que enfrenta a dificuldade, o objeto da dificuldade e, por fim, o alcance da mesma.

Do ponto de vista do sujeito, temos problemas a serem resolvidos pelos estudantes e pelos docentes; do ponto de vista do objeto, temos problemas envolvendo o conteúdo do ensino e sua metodologia; do ponto de vista do alcance, temos problemas globais e locais.

A combinação destas três dimensões fornece oito categorias diferentes de problemas que os materiais didáticos tentam resolver.

Para o material dirigido ao professor e, analogamente, para o material dirigido aos estudantes, temos:

- 1) Metodologias locais
- 2) Metodologias globais
- 3) Conteúdos locais
- 4) Conteúdos globais.

Para tornar mais clara e interessante esta classificação, damos, em seguida, alguns exemplos:

- 1) Trata-se de sugestões e indicações para o professor conseguir programar e executar experiências didáticas de alcance limitado (aula teórica ou experiência de laboratório). Estas sugestões, em geral, são oriundas de pesquisas ou de experiências didáticas repetidas, que têm tido um certo sucesso, e cuja comunicação visa tornar mais agradável, interessante e produtivo o ensino. Um exemplo detalhado é dado pelo planejamento de uma aula de Física sobre forças resistentes e empuxo, a partir da utilização do livro didático em sala de aula (Gama, 1985) ou de uma seqüência de experiências simples e de discussões sobre o mesmo assunto (Santos, 1985).



- 2) Trata-se de métodos de ensino que pretendem orientar o planejamento de cursos inteiros. O material em geral é mais elaborado e tem uma filosofia de ensino ou um enfoque didático marcante, que o autor pretende propor de maneira sistemática. Sua utilização supõe conhecimento e aceitação pessoal, por parte do docente, das idéias básicas que sustentam o método. Um exemplo bem conhecido é o famoso método Keller (1968) utilizado grandemente no ensino de Física no Exterior (Kulik, 1976) e no Brasil (Moreira, 1977; Hosoume, 1978).
- 3) Trata-se de um dos subsídios mais comuns, nas revistas de ensino de Ciência, dirigidos a professores. Faz-se a análise um pouco ou muito mais aprofundada do que nos textos didáticos de um tópico a ser ensinado, e se salientam os pontos mais polêmicos ou mais difíceis. Por exemplo, no campo da Relatividade Restrita, a utilização do "cálculo K" para obter as transformações de Lorentz (Segré, 1977) ou a análise da dilatação do tempo (Villani, 1984).
- 4) São constituídos por guias especiais do professor, relacionados com textos propostos para os alunos: neles, os vários conteúdos são aprofundados, para que o professor tenha uma idéia mais abrangente. Um exemplo é o guia do professor do texto do P.S.S.C.

Para os materiais dirigidos aos estudantes e referentes ao conteúdo os exemplos são análogos: Kits de experiências didáticas auto-instrutivas, apostilas e complementos audio-visuais sobre assuntos específicos, etc., ou textos didáticos completos, conjuntos de experiências de laboratórios, etc..

Como exemplificação dos subsídios de caráter metodo-

lógico endereçados aos estudantes, temos, de um lado, as seqüências para a execução de um experimento, para resolução de um determinado problema, para o estudo de determinados textos, e de outro lado, a proposta de metodologias gerais para aperfeiçoamento da leitura de textos científicos, para a experimentação, para o estudo individual ou em grupo, para a resolução de problemas.

As características principais que diferenciam os materiais metodológicos "locais" dos "globais" são a ênfase que estes últimos dão para a utilização de alternativas adaptáveis, aos diferentes casos, e a presença de uma visão de aprendizagem marcante com a qual o autor do material se identifica e que constitui o guia inspirador da proposta. A adoção de um material metodológico global supõe então a compreensão por parte do estudante da visão do autor, e, pelo menos em parte, sua aceitação que irá ajudá-lo na utilização de métodos gerais para resolver casos particulares com condições de contorno particulares.

Ao contrário, no material "local", normalmente o contexto é suficientemente especificado e a adoção de uma rotina ou de uma seqüência envolve a aceitação dela para o caso específico, em geral já testado com sucesso. Por exemplo, a metodologia geral de resolução de problemas propostos por Polya (1971) envolve diferentes etapas, e cada uma com várias possibilidades alternativas que supõem o estudante suficientemente amadurecido nas habilidades intelectuais e estratégias. Ao contrário, a seqüência proposta por Larkin (1976) para a especificação de um conceito pode ser utilizada por qualquer estudante, independentemente de suas concepções sobre a aprendizagem.

Antes de propormos um aprofundamento da natureza dos subsídios e dos enfoques e princípios que os sustentam, alguns pon

tos merecem ser destacados.

Em primeiro lugar, a dicotomia metodologia-conteúdo nos diz que a comunidade dos pesquisadores docentes mais atentos e sensíveis à problemática da melhoria do ensino de Ciência não tem aceito como ponto de partida indiscutível a função do professor como "transmissor" na sala de aula e a necessidade predominantemente "conteudística" dos auxílios didáticos. Auxílios metodológicos significam, em geral, especificações sobre o papel do docente e/ou sobre sua postura em sala de aula.

Em segundo lugar, as propostas de metodologias mais ou menos eficazes envolvem uma característica comum: a qualificação do professor como mediador entre a atividade do aluno de aprender e a autonomia do conhecimento científico a ser ensinado. O professor não é mais aquele que "sabe" e que, portanto, pode informar quem "não sabe", mas é aquele que pode, de diferentes maneiras, facilitar o contato entre o aluno e a Ciência. Não importa se esta mediação se dá mediante o detalhamento das atividades a serem cumpridas rigorosamente pelos alunos, ou através da proposta de situações de interação mais intensas; mesmo nos casos nos quais, do ponto de vista metodológico, é importante que o professor faça uma exposição oral do conteúdo, esta solução é concebida como uma maneira, entre várias, de facilitar a atividade de aprender dos estudantes. Por exemplo, na aprendizagem da resolução de problemas, um papel importante tem a "imitação", por sua capacidade de fornecer protótipos esquemáticos eficientes; evidentemente, não pode haver imitação sem uma apresentação, ao vivo, por parte do professor, da solução de determinados tipos de problemas. O que importa não é o conteúdo em si, mas os detalhes que acompanham sua exposição e que fornecem pistas, guias e su-

gestões para a atividade do aluno. .

Isso significa que mesmo o bom professor tradicional que se considera "fonte" do saber dos alunos, de fato, com o seu comportamento, facilita a aprendizagem dos estudantes nas mais variadas maneiras, inclusive dando suporte emocional.

Em terceiro lugar, uma vez aceita a função de professor como mediador entre a atividade do estudante e o conteúdo científico a ser aprendido, algumas consequências são imediatas. O professor deve ter um conhecimento do conteúdo a ser aprendido, do processo da aprendizagem e da arte de mediação. Uma melhor especificação destas tarefas supõe uma análise mais aprofundada do ensino de Ciência, que veremos nos próximos capítulos.

## 2. OS ENFOQUES DO MATERIAL DIDÁTICO

Quando distinguimos a problemática do ensino de Ciência em metodológica e de conteúdo, introduzimos uma dicotomia somente em parte satisfatória, pois nenhuma distinção é feita do ponto de vista das diferentes soluções oferecidas pelos vários pesquisadores e docentes.

### Conteúdo

O material didático que visa um aprofundamento ou um subsídio ao nível do conteúdo, tem apresentado diferentes características: mais teórico ou mais experimental, mais abstrato ou mais concreto, mais demonstrativo ou mais aplicativo, mais histórico ou mais axiomático, etc.. Em nossa opinião, todas essas características podem ser sintetizadas em três categorias signifi-

cativas: o material poderá ser prevalentemente "formal" ou "empírico" ou "heurístico".

Entendemos que um material didático é prevalentemente "formal" quando são salientados os aspectos lógicos, estéticos, de coerência interna e de estrutura das leis científicas. Um exemplo interessante é o texto de Física de Berkeley (Kittel, 1962) que focaliza muito os aspectos de simetria e de coerência entre as leis da Física. Outro exemplo é um texto por nós produzido sobre momento angular (Villani, 1976).

Entendemos que um material didático é prevalentemente "empírico" quando faz apelo aos aspectos práticos e concretos da Ciência, sua capacidade de explicação dos fenômenos do cotidiano, suas aplicações tecnológicas, suas experimentações; enfim, sua "empiricidade". Exemplos interessantes são a proposta dos filmes sobre centro de massa (Maramatsu, 1976), do laboratório circulante (Saad, 1973) ou do laboratório de demonstrações, todos desenvolvidos no IFUSP.

Entendemos que um material didático referente ao conteúdo é prevalentemente "heurístico" quando focaliza as idéias básicas, as imagens, os modelos qualitativos e suas evoluções históricas. Sua função é de tornar intuitivo o contexto científico e suas raízes. Um exemplo deste tipo de material é a síntese histórica da idéia de inércia (Arcidiaco, 1983) ou do nascimento da idéia de entropia (Aurani, 1985).

É interessante notar a relação entre estes três tipos de subsídios para o conteúdo. O material "heurístico", por sua pretensão de atingir a intuição do estudante ou do professor, e de especificar as raízes dos produtos científicos, torna-se mediador entre o conteúdo "formal" e o "empírico". O material "em-

pírico", por sua vez, é o ponto de convergência das noções "formais", construídas para explicar os fenômenos e é o ponto de partida das idéias heurísticas, pois estas se constituem como protótipos sintéticos dos fenômenos físicos; conseqüentemente, o material "empírico" constitui uma mediação entre o "formal" e o "heurístico".

Uma síntese de todas essas idéias pode ser a proposta de um diagrama triangular para a classificação das características dos materiais didáticos referentes ao conteúdo da Ciência. Considerando cada ângulo como uma polaridade, teremos como resultado (Figura 1) a localização do material "formal" na parte superior do diagrama, do material "heurístico" na parte direita e do material "empírico" na parte esquerda; finalmente, na parte central do diagrama será localizado o material "intermediário", que combina mais de um enfoque.

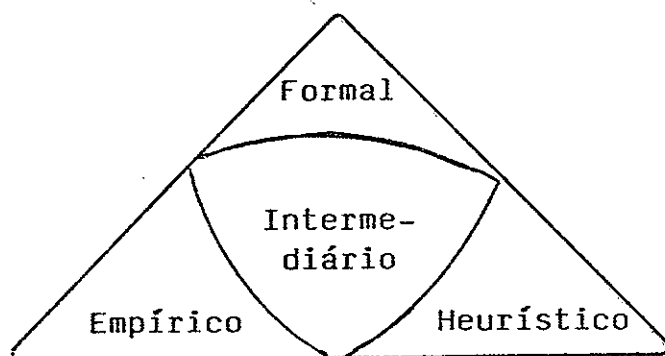


Figura 1

Evidentemente, não pretendemos sugerir a idéia de uma medida rigorosa das características do material didático, mas somente propor um esquema grosseiro que auxilie a refletir sobre as contribuições específicas de cada subsídio.

Alguns comentários se impõem para um melhor esclarecimento de nossas idéias.

- 1) A articulação triangular das características dos materiais didáticos referentes ao conteúdo científico a ser aprendido constitui uma síntese e uma visualização de 3 aspectos dicotômicos importantes: a contraposição entre material "formal", com a predominância dos aspectos lógicos e formais da Ciência, e material "familiar", que focaliza os aspectos mais acessíveis da mesma, seja de origem fenomenológica, seja de origem intuitiva; a contraposição entre material "heurístico" que focaliza os elementos evolutivos ou gerativos da Ciência e material "produtivo", no qual a contribuição se refere aos aspectos de produtos acabados do mesmo; finalmente a contraposição entre material "empírico", seja ele experimental ou fenomenológico e material "teórico", que se refere principalmente aos aspectos intrínsecos da Ciência.
- 2) A mudança significativa, que tem caracterizado a produção de material a partir da década de sessenta, se constitui numa acentuada focalização do aspecto "empírico", principalmente no incentivo ao uso do laboratório e das demonstrações experimentais. Nestes últimos tempos, sobretudo em consequência dos resultados das pesquisas sobre concepções espontâneas, tem crescido também a análise da fenomenologia do cotidiano, seja mediante a utilização de modelos simplificados, seja mediante a utilização de computadores.
- 3) Somente recentemente têm sido implementadas contribuições de tipo "heurístico", com material que focaliza as idéias "teóricas" básicas capazes de unificar as leis científicas formais e com análises históricas e evolutivas dessas mesmas idéias. Entretanto, o volume de material deste tipo é muito inferior

ao que se refere aos aspectos "produtivos" da Ciência e aos resultados da mesma.

### Metodologia

O material didático de natureza metodológica apresenta uma dicotomia bastante visível, cujo exemplo mais significativo é a separação entre enfoque "comportamentalista" e "cognitivista".

O enfoque "comportamentalista" visa um controle ou um auxílio ao comportamento externo do estudante; refere-se a objetivos mensuráveis (ou mais modernamente a objetivos comportamentais gerais e específicos), e pretende utilizar a programação explícita que detalha todos os passos necessários para alcançar os comportamentos desejados.

O enfoque "cognitivista" visa principalmente auxiliar os processos "mentais" internos dos estudantes; qualifica seus tipos de entendimentos como rotineiros ou significativos, primitivos ou articulados e pretende alcançar seus objetivos através de situações de "desafio" a serem enfrentadas pelos estudantes, explorando mais intensamente seus recursos intelectuais e suas estratégias cognitivas. Também tem o cuidado de dosar o conteúdo de maneira que não exceda as possibilidades intelectuais dos estudantes.

Os exemplos mais dramáticos destes enfoques são a instrução programada e os computadores programados, de evidente origem "comportamentalista" e a utilização do método da "descoberta" que visa reproduzir nos estudantes processos intelectuais e, portanto, compreensões análogas às que acompanharam a origem de determinados conteúdos científicos.



Exemplos menos dramáticos são a proposta do método Keller para o ensino de Física (Hosoume, 1978), ou a utilização do livro didático em sala de aula segundo o enfoque da Tecnologia da Educação (Gama, 1985), ou do guia para os experimentos do laboratório circulante (Saad, 1983) que seguem mais ou menos sistematicamente os princípios metodológicos comportamentalistas.

Do lado oposto temos as propostas do laboratório por "projetos" (Saad, 1983), ou a utilização de organizadores avançados para o estudo do Eletromagnetismo (Moreira, 1977), ou a proposta de um roteiro experimental e de discussões em grupos para alcançar uma noção científica de densidade e de flutuação dos corpos (Santos, 1983).

Evidentemente, existem também propostas intermediárias caracterizadas ou por uma indefinição da metodologia utilizada, ou pela tentativa de síntese entre elementos externos e internos. Um exemplo é a proposta de uma estratégia de resolução de problemas bastante definida quanto aos comportamentos sugeridos, e cujos efeitos são avaliados mediante mapas conceituais (Pezuzzi, 1982).

Também em relação ao material metodológico é possível fazer algumas considerações esclarecedoras:

- 1) A programação e, de certa forma, a utilização de material didático metodológico inspirado por uma linha exige sempre um bom conhecimento das mesmas e nunca se reduz a mera aplicação de "regras". É importante notar que a visão comportamentalista se baseia numa análise refinada das "contingências de reforço", ou seja, das situações nas quais alguns comportamentos se repetem sistematicamente. Por sua vez, a visão cognitivista tem sempre o cuidado de descobrir elementos comuns em si-

tuações diferentes que tenham como possível referência atos ou estruturas internas.

As deviações mais fáceis, e que de fato têm-se verificado na produção metodológica de subsídio ao ensino de Ciência, são, de um lado, a focalização de comportamento sem nenhum cuidado em analisar se eles representam efetivos avanços na aprendizagem e, de outro lado, o uso (e o abuso) de estados "internos" para explicar fracassos na aprendizagem ou diferenças nos comportamentos efetivos obtidos.

- 2) A dicotomia "cognitivo-comportamental" está presente também na interpretação dos resultados das pesquisas sobre concepções espontâneas. Existem evidências de que as respostas dos estudantes dependem fortemente do contexto e da tarefa a ser executada e existem também evidentes traços comuns em respostas oriundas de situações experimentais e culturais diferentes.

Certamente, este é um sinal de alerta contra simplificações excessivas, de um lado ou do outro.

- 3) Uma outra evidência de que a dicotomia apresentada é fundamental e de que se refere a aspectos complementares é sua grande analogia com a dicotomia entre aspectos "heurísticos" e "produtivos" da Ciência e do material de suporte do conteúdo científico a ser aprendido. De um lado, a visão cognitivista se expressa mediante o uso de procedimentos que visam influenciar a gênese de aprendizagem, as idéias e as estratégias mentais; portanto, trata-se de um enfoque "heurístico". De outro lado, a visão comportamentalista visa esclarecer e influenciar os efeitos da aprendizagem, ou seja, as mudanças comportamentais que a manifestam; portanto, trata-se de um enfoque "produtivo".

### 3. OS PROJETOS DE MELHORIA DO ENSINO DE CIÊNCIA

Além das contribuições específicas para professores e para estudantes, de caráter metodológico ou de conteúdo, a partir do final da década de cinquenta têm sido desenvolvidos vários projetos de largo alcance, cuja pretensão tem sido auxiliar na melhoria do ensino de Ciência de uma nação ou de um continente inteiro. Trata-se de projetos que envolveram equipes bastante numerosas e recursos não desprezíveis e cuja finalidade era produzir uma grande gama de materiais de diferentes tipos, geralmente coordenados, para auxiliar o professor e os estudantes, do ponto de vista metodológico ou de conteúdo, com subsídios locais e também globais. Em geral, estes projetos nasceram como explicitação de uma idéia original, considerada como fundamental para equacionar eficazmente os problemas do ensino de Ciência e, em boa parte, também resolvê-los. Novamente, não é nossa intenção fazer uma análise detalhada e exaustiva de todos os projetos desenvolvidos até hoje, nem dos principais; nosso interesse está na apresentação e exemplificação de um esquema de análise que permita, além de classificar os vários projetos, sobretudo visualizar a contribuição que eles deram, e obter informações e dicas em relação à formação do professor.

Acreditamos que os esquemas desenvolvidos no item anterior possam constituir um ponto de partida interessante para compor um quadro global com um número limitado de categorias significativas e portanto passível de ser visualizado com uma construção gráfica geométrica.

Se considerarmos um prisma composto de uma base triangular e de uma altura ortogonal (Figura 2) poderemos projetar as

características do projeto referentes ao conteúdo na base triangular, e os referentes à metodologia na altura normal.

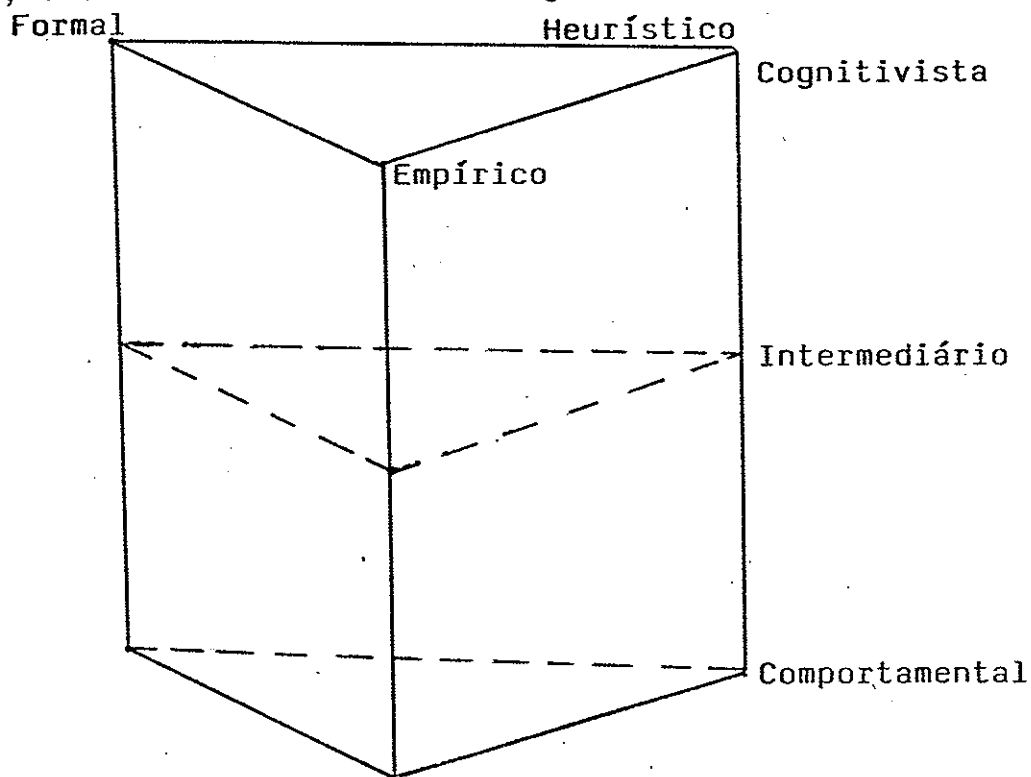


Figura 2

Conseqüentemente, os projetos metodologicamente mais ligados ao enfoque comportamentalista estarão localizados próximos da base triangular inferior, ao passo que os ligados ao enfoque cognitivista estarão perto da base triangular superior. Os projetos indefinidos ou mistos estarão localizados na parte mediana da figura.

Analogamente, os projetos que, do ponto de vista do conteúdo, têm focalizado prevalentemente o produto acabado da Ciência, estarão próximos da face esquerda do prisma (face F-E); os que concentram suas atenções sobre os aspectos familiares da Ciência, estarão próximos da face direita (face E-H), e os que focalizam os aspectos intrínsecos da Ciência estarão próximos da face posterior (face F-H).

Os exemplos estão na Figura 3.

O PSSC, do ponto de vista do conteúdo dá ênfase à ex

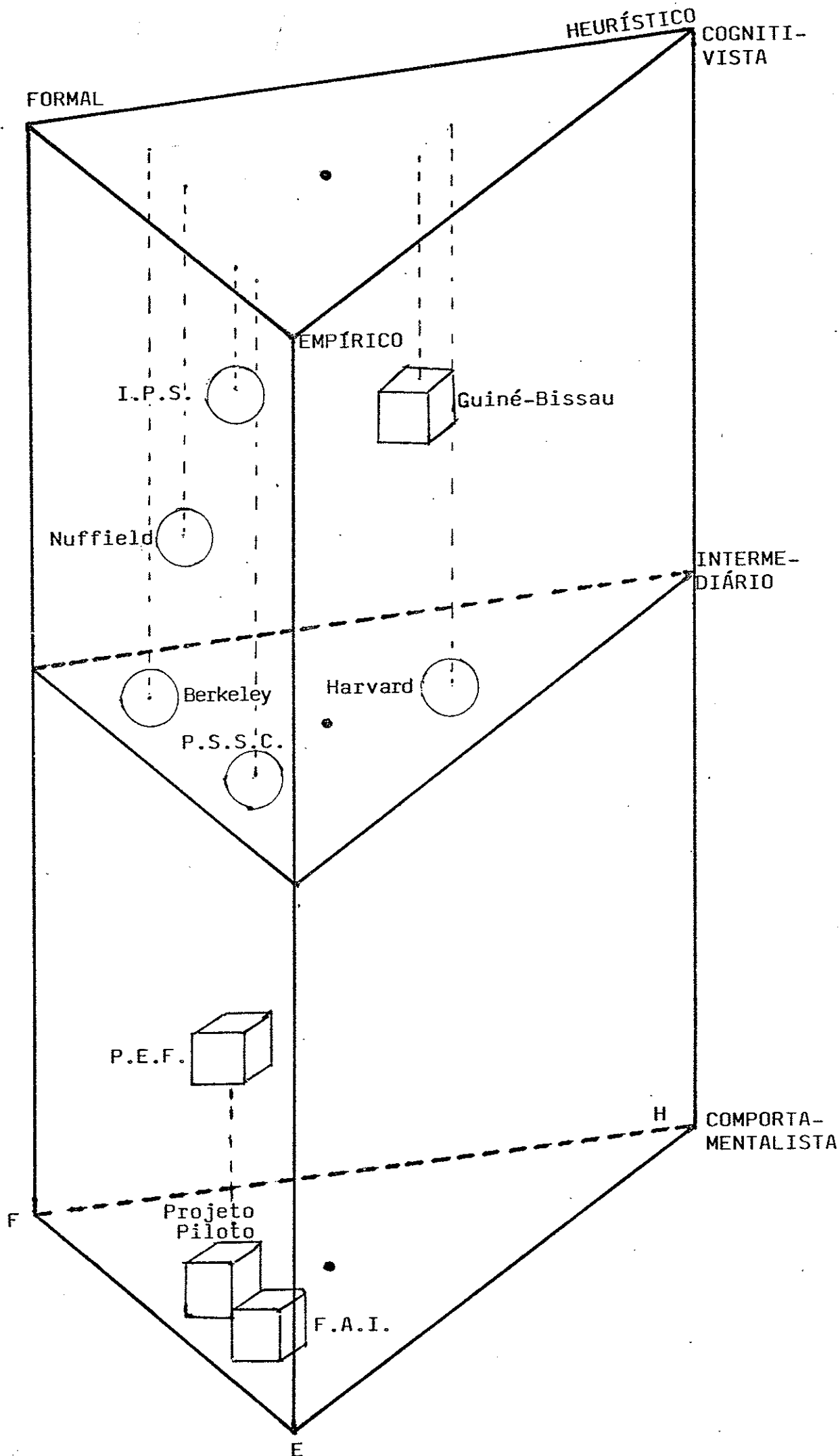


Figura 3

perimentação e aos efeitos familiares da Ciência; do ponto de vista metodológico adota o compromisso da organização de multimeios sem, no entanto, assumir explicitamente o enfoque comportamentalista e visando estimular o interesse e a iniciativa dos alunos.

O Projeto de Berkeley para o Ensino de Física ao nível universitário básico focaliza mais o aspecto "formal" da Ciência e as propriedades de simetria de seus resultados; do ponto de vista metodológico não dá informações sobre suas opções, localizando-se então aproximadamente no meio do prisma.

O Projeto Nuffield, do ponto de vista metodológico, aproxima-se do enfoque cognitivista, pois se propõe a tornar a Ciência intelectualmente excitante para os estudantes, fomentando suas investigações e seus julgamentos: por isso, sua localização é mais próxima da base heurística do que da base produtiva; ao contrário, o ponto de vista do conteúdo está do lado produtivo (formal-empírico), afastado do pólo heurístico.

O Projeto de Harvard introduz novidades do ponto de vista do conteúdo, analisado com um enfoque histórico-heurístico sem, no entanto, abandonar os outros aspectos (como a utilização de experimentos, filmes, textos suplementares, etc.); sua posição na base triangular é central, assim como é central a sua posição na altura metodológica, pela sua flexibilidade em propor esquemas que vão desde a instrução programada até indicações para discussões e experimentos.

Finalmente, o IPS, ao promover sistematicamente o método da "descoberta", se localiza mais perto da base superior (a heurística) do lado "produtivo" e com proximidade do pólo "empírico", pois sua finalidade é reproduzir, mediante análise empírica, as leis científicas clássicas.

Os projetos desenvolvidos no Brasil ou em língua portuguesa antes da metade da década de setenta têm uma característica metodológica comum: sua adesão à filosofia comportamentalista e sua preferência pelo aspecto "empírico" dentro de uma visão produtiva do conteúdo. Temos, assim, o Projeto Piloto e o FAI, que revelam de forma marcante sua origem na Tecnologia da Educação e na preferência para o material "empírico", e o PEF, que também tem uma base metodológica comportamentalista, mas revela uma preocupação mais equilibrada quanto ao desenvolvimento intelectual dos estudantes, ao passo que seu conteúdo está mais próximo da face "produtiva".

Completamente diferente, sobretudo do ponto de vista metodológico, é o projeto desenvolvido na Guiné-Bissau, sob inspiração da visão educacional de P. Freire (Delizoicov, 1982). Ao pretender atingir as idéias significativas de seus estudantes a partir da análise temática dos conteúdos científicos de maior relevância e utilizando abundantemente discussões, experiências, pesquisas em grupo, o projeto se situa muito mais perto das características metodológicas do IPS do que dos projetos brasileiros. Entretanto, distingue-se bastante do IPS do ponto de vista do conteúdo, pois apesar de ser fortemente ancorado à análise fenomenológica, enfrenta problemas práticos de choques de visões sobre a natureza e tem de apelar muito mais para o enfoque "heurístico", ao querer confrontar as idéias científicas básicas às idéias "religiosas" ou "mágicas" da comunidade local dos estudantes.

Resumindo e complementando nossas considerações sobre os projetos internacionais e nacionais, podemos dizer:

- 1) Os grandes projetos internacionais têm inovado em dois aspectos o ensino de Ciência: do ponto de vista do conteúdo, tem in

introduzido sistematicamente e abundantemente a experimentação e a demonstração; do ponto de vista metodológico, têm utilizado prevalentemente esquemas do tipo multimeio (filmes, apostilas, textos programados, experimentos, demonstrações) numa perspectiva intermediária, incentivando abertamente as atividades intelectuais dos estudantes e cobrando os resultados a nível de síntese entre enfoques diferentes.

Para tanto, têm-se aproveitado de equipes multidisciplinares que envolvem, além de cientistas, também especialistas em psicologia, cinema, jornalismo, comunicação.

O significado dessas mudanças, além de marcar o início da "familiarização" da Ciência, no sentido de torná-la acessível aos estudantes, marca também a aceitação, por parte da comunidade mais sensível dos docentes e pesquisadores, da idéia que a aprendizagem de Ciência é um problema complexo de alcance interdisciplinar (ou, provisoriamente, multidisciplinar).

Parece pacífico que o conteúdo científico tem que ser trabalhado até se tornar de alguma forma "familiar" para o estudante sem, no entanto, perder o seu rigor e, na medida do possível, a precisão de sua linguagem. Recentemente têm-se multiplicado os esforços, novamente na elaboração de material que focalize a interpretação dos fenômenos do cotidiano, a partir dos resultados das pesquisas sobre concepções "espontâneas".

- 2) Quanto aos projetos nacionais, é importante ressaltar sua adesão à postura implícita nos projetos internacionais: "empiricização" do conteúdo e introdução de um enfoque metodológico explícito, no caso o comportamentalista.

É preciso entender e avaliar o significado destas ten



dências e de suas perspectivas.

Os projetos internacionais, traduzidos para o Português, têm esbarrado, após uma euforia inicial devida à novidade, na estrutura escolar e na cultura e formação dos docentes, os quais deveriam realizar os projetos na prática cotidiana. A estrutura escolar, sobretudo a pública, com classes numerosas e com diferenças culturais entre seus alunos, tornava qualquer tentativa de atividade mais criativa muito complicada, exigindo uma organização prévia da instrução para qualquer novidade que pudesse ser introduzida. A mentalidade e a formação dos docentes, em grande maioria com falhas e ligadas ao ensino por "transmissão", além da falta sistemática de tempo, exigiam projetos simples e que não envolvessem habilidades especiais do ponto de vista do conteúdo ou da análise metodológica.

Os vários projetos brasileiros de tendências "empíricas" no conteúdo e "comportamentalista" na metodologia foram adaptados com a utilização de demonstrações de baixo custo e com a especificação das tarefas previamente planejadas pelo projeto e acessíveis à situação prática. O resultado foi a introdução de uma certa organização que certamente facilitou o exercício da docência e, provavelmente, a aprendizagem dos estudantes nos níveis mais elementares.

De certa forma, a solução comportamentalista se prestava mais a produzir material à "prova de professor" do que à utilização de esquemas abertos e flexíveis. Entretanto esta saída inicial, de alguma maneira necessária, não foi acompanhada de um esforço nacional ou regional de melhoramento da formação do professor ou de treinamento em serviço que, de fato,

introduzisse na prática comum a aspiração a uma mudança semelhante à dos projetos iniciais, internacionais e nacionais.

Isso explica a aceitação boa que têm encontrado projetos como a utilização do livro didático em sala de aula, cuja força está na possibilidade de utilização rápida da metodologia após um treinamento não muito demorado.

Se, de um lado, esta metodologia, do ponto de vista emergencial, tem sentido para introduzir uma certa organização no ensino da Ciência, a longo prazo provoca e perpetua o domínio dos livros didáticos em detrimento de análises "comportamentais" em sala de aula.

Por isso, a situação do ensino de Ciência, apesar dos projetos nacionais e internacionais, na América Latina é a mesma ou talvez mais difícil do que na década de sessenta e setenta.

- 3) Os projetos internacionais, apesar de tentarem sínteses metodológicas, não têm tido o mesmo caráter sintético na escolha do conteúdo, mais próximo do aspecto produtivo (da Ciência produto) e com pouca preocupação com o aspecto heurístico. Isso significa uma dupla lacuna: de um lado, constituíam a proposta de uma visão científica de fato absoluta e não em contínua renovação e, de outro lado, eram caracterizados pelo desprezo da necessidade de "convencer" os estudantes, ou seja, de produzir uma "mudança" de visão de natureza, com o questionamento das visões "espontâneas" correspondentes. Estas mesmas lacunas se apresentam nos projetos brasileiros, com a exceção do projeto realizado na Guiné-Bissau, no qual o problema prático e imediato de uma rejeição mais ou menos explícita da visão científica clássica em favor de visões locais prevalentemente

mágicas e religiosas e provocou por parte dos organizadores um estudo demorado das condições locais, com tentativas práticas de obtenção de uma mudança de visão dos estudantes (Angotti, 1982).

Deste ponto de vista, o projeto é realmente pioneiro no tratamento das concepções espontâneas, via discussões, análises fenomenológicas e propostas de conflitos.

- 4) O impacto dos resultados das pesquisas sobre concepções espontâneas tem modificado significativamente o quadro internacional da produção de projetos, inibindo fortemente as tentativas de grande alcance e estimulando as tentativas locais, de pequenos grupos e de conteúdos reduzidos; de fato, não existe uma metodologia eficaz e segura, segundo a qual os alunos modifiquem sem falhas suas concepções espontâneas. As várias tentativas em andamento, com que já acenamos no capítulo quarto, têm em comum um esboço de elementos ainda não transformado em plano ou procedimento articulado. Certamente, o futuro das pesquisas deverá reservar resultados nesta área.
- 5) Do ponto de vista dos projetos nacionais, deve ser apontado o esforço significativo de instituições financeiras governamentais (FNDCT - Melhoria do Ensino de Ciência) para promover projetos locais de pequeno e médio porte.

Apesar do enfoque em geral estar longe das pretensões dos projetos análogos europeus e americanos, alguns elementos são significativos e vão ao encontro das necessidades a longo prazo do ensino de Ciência: a melhoria da formação do professor, mediante esboços mais ou menos definidos de mudança de currículo e a melhoria da competência dos professores em exercício, mediante treinamentos e cursos de extensão.

Em nossa opinião, a competência do professor em relação ao conteúdo a ser aprendido pelos estudantes deve envolver seu conhecimento explícito e formal, uma complementação histórico-filosófica e uma visão mais intuitiva dos modelos e dos fenômenos físicos. De fato o professor, além de mediar o conhecimento dos estudantes, em várias circunstâncias se encontrará na posição de "fonte" mais fácil de informação e de avaliador da qualidade da aprendizagem dos estudantes e de sua coerência e compatibilidade com o conteúdo científico proposto; por isso, a necessidade do conhecimento formal do mesmo.

O conhecimento do processo de aprendizagem deverá, pelo menos, ser qualitativo e implícito, para poder realizar uma mediação que respeite as exigências internas dos estudantes.

Quanto aos conhecimentos da arte da mediação, certamente os princípios metodológicos cognitivistas e comportamentalistas são interessantes e de auxílio, mas os elementos mais importantes estão na capacidade de prever situações de "conflito" para os estudantes; o contato com as pesquisas nesta área será muito proveitoso e, conseqüentemente, o currículo de formação do professor deveria prever esta possibilidade. Voltaremos novamente a estas considerações.

#### BIBLIOGRAFIA CITADA

- Angotti, J.A.P., "Solução Alternativa para a Formação de Professores de Ciências - Um Projeto Educacional Desenvolvido na Guiné-Bissau", Dissertação de Mestrado, IFUSP-FEUSP, 1982.

- Arcidiaco, G. et al., "Il Principio di Inerzia nella Meccanica Classica", está em Bevilacqua (ed.), "Storia della Fisica", CISEM/Quaderni, Angeli, Milano, 1983, pp. 61-111.
- Aurani, K., "Ensino de Conceitos: Estudo das Origens da Segunda Lei da Termodinâmica e do Conceito de Entropia a partir do Século XVIII", Dissertação de Mestrado, IFUSP-FEUSP, 1985.
- Delizoicov, D., "Concepção Problematizadora para Ensino de Ciência na Educação Formal", Dissertação de Mestrado, IFUSP-FEUSP, 1982.
- Gama, H.V., "Planejamento e Elaboração sob o Ponto de Vista da Tecnologia da Educação, de um Sistema Instrucional Baseado no Uso do Texto, Pelo Estudante, em Sala de Aula", Dissertação de Mestrado, IFUSP-FEUSP, 1985.
- Hosoume, Y. et al., "Análise de um Curso Básico de Física - Resultados Qualitativos", Publicações IFUSP/P-147, 1978.
- Keller, F., "Good Bye, Teacher...", Journ. Appl. Behav. Anal. 1 (1968) pp. 1-7.
- Kittel, C. et al., "Mechanics", Berkeley Physics Course, vol. 1 McGraw-Hill, 1962.
- Kulik, J.A.; Kulik, C.L.C.; Smith, B.B., "Research on the Personalized System of Instructions", Pr. Lear. Educ. Tech. 13 (1976) pp. 23-28.
- Larkin, J.H.; Reif, F., "Analysis and Teaching of General Skill for Studying Scientific Text", Jour. Educ. Psych. 68 (1976) pp. 431-439.
- Maramatsu, M., "Produção, Utilização e Avaliação de Filmes Didáticos de Física", Dissertação de Mestrado, IFUSP-FEUSP, 1976.
- Moreira, M.A., "O Uso do Sistema de Instrução Personalizada em um Curso Básico de Física Durante Sete Semestres Consecutivos", Rev. Bras. Física 7 (1977) pp. 711-718.

- Peduzzi, L.O.Q., "Dois Estudos sobre Solução de Problemas de Física em Nível Universitário Básico", Dissertação de Mestrado, IF-UFRGS, 1980.
- Polya, G., "Como Plantear e Resolver Problemas", Ed. Trilhos, México, 1974.
- Saad, F.D., "O Laboratório Didático de Física no Ensino Experimental: um Estudo Visando a Viabilidade de Novas Abordagens", Tese, FEUSP, 1983.
- Santos, M.L.A., "A Interferência do Nível de Desenvolvimento Cognitivo na Aprendizagem de um Conteúdo de Física", Dissertação de Mestrado, IFUSP-EPUSP, 1983.
- Segrè, G., "Un Introdutione Moderna Alla Relatività Ristretta: il K-Calculus di Bondi", Giorn. di Fisica 18 (1977) pp. 132-144.
- Villani, A. et al., "Elaboração de um Texto: Momento Angular", Rev. Bras. Física, vol. esp. 3 (1976) pp. 770-778.

## VII. ENSINO DE CIÊNCIA, IDEOLOGIA E SOCIEDADE

Toda a análise desenvolvida até agora tem tido como pano de fundo o esforço de detectar e desenvolver os elementos básicos do ensino de Ciência que estão ao alcance do professor. Ao explicitar a idéia de Ciência e de Física, fornecemos ao professor as idéias fundamentais capazes de construir sua visão e nortear sua organização do conteúdo do ensino. Ao explicitar as características da aprendizagem dos alunos, sugerimos ao professor idéias capazes de ajudá-lo a compreender o comportamento dos alunos e estimulá-los em sua aprendizagem. Ao explicitar os subsídios didáticos elaborados para fortalecer o ensino de Ciência, levantamos para o professor critérios de análise e de avaliação do material didático, para tornar as tarefas dos estudantes mais eficazes e a qualidade do ensino mais aprimorada. Mesmo os trabalhos de análise da relação professor-aluno mediante a técnica de observação sistemática em sala de aula (Amidon, 1967) ou mediante o esquema comportamentalista das contingências de reforço (Hersen, 1976), têm como finalidade tornar a ação do professor mais eficiente mediante um controle maior das condições de aprendizagem dos estudantes.

Entretanto, o ensino não é unicamente uma função técnica passível de aprimoramento a partir de um melhor domínio dos instrumentos de trabalho; o ensino é também parte de um processo educacional mais amplo que busca o crescimento global, intelec-

tual e social, do professor e de seus alunos.

Na visão corriqueira de ensino de Ciência, o aspecto social é considerado como uma consequência "natural" do aspecto técnico; ensinar e transmitir conhecimentos significa automaticamente valorizar as capacidades humanas dos estudantes, pois o saber liberta o homem das amarras da ignorância, principalmente em se tratando do saber científico.

Porém, as análises mais modernas, sobretudo as que focalizam o aspecto sociológico do saber, discordam desta visão, considerando-a simplista.

Neste capítulo, procuraremos delinear os pontos essenciais deste questionamento, que começará focalizando as relações pedagógicas típicas da sala de aula, passando para as relações institucionais dentro da escola e da escola com a sociedade local, e terminando com a perspectiva do significado global do ensino de Ciência dentro da sociedade como um todo.

## 1. AS RELAÇÕES PEDAGÓGICAS

O questionamento mais básico se refere diretamente à relação pedagógica professor-aluno do ponto de vista da sua potencialidade libertadora da personalidade do estudante.

Uma análise interessante que pode servir como guia neste questionamento é a de Bohoslavsky (1972). Após caracterizar as principais relações entre pessoas como: a) de dependência, b) de cooperação, c) de competição, o autor sustenta que a concepção "natural" do ensino, independentemente do tipo de liderança do professor - democrática, autocrática ou tolerante - é basea



da no vínculo de dependência do aluno.

Tal dependência tem cinco pressupostos considerados como inquestionáveis:

- 1) O professor sabe mais do que os alunos.
- 2) O professor tem a tarefa de proteger os alunos de cometer erros.
- 3) O professor pode e deve julgar os alunos.
- 4) O professor pode e deve determinar a legitimidade e a pertinência dos interesses dos alunos.
- 5) O professor pode e deve definir a comunicação possível com os alunos.

Na avaliação de Bohoslavsky, o ensino que admite como inquestionáveis estes pressupostos, mesmo que conduzido com boas intenções, é destinado a perpetuar um estado de dependência e de marginalização do aluno, que vai aprender num único tipo de aprendizagem, a reboque do professor.

Sobretudo quando o professor define unilateralmente o tipo de comunicação com o aluno, o tempo e o espaço, o código e o repertório que norteiam a sua relação com os estudantes, de fato está explicitando a dominação dos elementos institucionais e pessoais que caracterizam sua mensagem. O efeito desta maneira de se relacionar dificulta também a compreensão da própria mensagem, pois vincula implicitamente seu conteúdo a um único tipo de expressão.

E o resultado final, sempre na opinião do autor, de onze anos de ensino de primeiro e segundo graus, é o esquecimento da Álgebra, a lembrança vaga da Química e da Física, o medo ou até o desprezo da Literatura e à incapacidade de escrever de maneira pessoal, além de, evidentemente, uma grande submissão. A

razão de tudo isso é fácil de compreender: se o ensino depender unicamente da iniciativa e das decisões do professor, mesmo que elas sejam esclarecidas, nunca irá formar estudantes capazes de aprender e produzir novos conhecimentos de maneira autônoma.

No caso específico do Ensino de Ciência, o problema da dependência é ainda mais complexo, pois linguagem, códigos e comportamentos, considerados adequados são ainda mais restritos, e dominá-los é indispensável para a participação na vida social totalmente invadida pela comunicação científica.

Análises específicas sobre os efeitos implícitos do ensino de Ciência são bastante raras; as poucas realizadas no Brasil apontam para dois efeitos opostos e complementares: a uniformização de estudantes e professores rumo a uma visão de mundo na qual a atividade científica tem um "status" particularmente privilegiado como fonte de verdades superiores, e a marginalização escolar e social dos que não se adaptam a esta visão.

Como exemplo de trabalhos do primeiro tipo, podemos citar a análise das relações institucionais num curso de Física Básica da Universidade (Kishinami, 1982); como exemplo de trabalhos sobre a marginalização escolar pelo uso unilateral de códigos restritos, podemos citar a análise da influência dos contextos culturais na aprendizagem matemática (Carraber, 1982).

O trabalho sobre relações institucionais consistiu na análise das representações levantadas a partir dos discursos de estudantes, professores, monitores e técnicos envolvidos num curso de Física Básica. Dois "modelos" diferentes de ensino puderam ser articulados: o do ensino como "iniciação" e do ensino como "administração".

As descrições dos professores das aulas de teoria so

bre livros-textos, avaliações, exposições orais, demonstrações experimentais, resolução de problemas, contatos públicos e particulares com os estudantes, apesar das diferenças individuais e de estilo de ensino, apontavam para um único tipo de relação pedagógica; nela, o papel do docente é representado como o do sábio que está em comunhão íntima (mediante a pesquisa) com um saber superior, de alguma forma separado e glorioso e, por isso, é capaz de guiar o estudante no caminho da ortodoxia, ajudando-o a analisar corretamente os fenômenos naturais e transformando sua mente com o verdadeiro conhecimento da Natureza. As descrições dos estudantes são complementares; eles se reconhecem como vindo de um passado cultural e científico infeliz, cheio de erros e de conhecimentos distorcidos ou incompletos e como necessitantes da ação diretiva do professor e da instituição, de seu exemplo e de suas regras para poderem ter esperanças de uma transformação efetiva e de um conhecimento verdadeiro.

Estas representações podem ser sintetizadas no modelo de "iniciação" do estudante ao saber superior, com a mediação indispensável e privilegiada do professor. Com isso, o efeito implícito das aulas de teoria é a transmissão e o reforço da concepção de Ciência como saber verdadeiro e definitivo e de difícil acesso; o professor pesquisador, além de guardião deste saber, é também considerado como seu legítimo difusor, mediante sua ação de ensino explícito. Simultaneamente, é reforçada a idéia de relação hierárquica entre professor e aluno como a única possível devido à distância entre o saber científico de posse do primeiro e o saber comum ou distorcido do segundo.

O modelo de ensino articulado a partir dos discursos sobre as práticas no laboratório é baseado na imagem da organiza

ção e do planejamento do trabalho capaz de manter professores e estudantes sempre ocupados. A coordenação geral do curso estava sempre presente invisivelmente na realização de atividades pré-estabelecidas, cujo efeito era o "treinamento" de habilidades técnicas, sem nenhum compromisso com a efetiva descoberta ou produção ou contato com um saber novo e científico. Por isso, não é difícil localizar nas atividades de professores e alunos situações ou tendências de "fuga" de um cotidiano não comprometido moralmente e cognitivamente com a verdade: a tentativa de impor, mesmo que de maneira sutil e até agradável, uma rotina e uma disciplina sem utopia ou sem ideal, tem como resposta não eventual a transformação das ações que constituem a rotina em atividades com finalidades alheias à programação pré-estabelecida.

Estes dois modelos de ensino podem ser considerados como exemplares da grande maioria dos cursos de Física e de Ciência que visam construir "implicitamente" uma imagem "religiosa" da Ciência e/ou produzir efeitos disciplinares de treinamento da submissão a programações pré-determinadas.

O trabalho sobre o fracasso escolar em matemática consistiu na realização de um Teste Informal e de um correspondente Teste Formal, com crianças culturalmente marginalizadas, sobre um conteúdo específico da Matemática (operações e soluções de problemas simples). O Teste Informal foi realizado em condições naturais (bancas de feira, comércio) nas quais as operações matemáticas constituíam uma parte essencial da atividade cotidiana da criança; o Teste Formal foi realizado na escola, com lápis e papel, e envolvia as mesmas operações e problemas matemáticos do Teste Informal.

O resultado final da comparação entre as respostas aos

dois testes mostrou um desempenho sensivelmente melhor no Teste Informal, e a análise qualitativa dos processos de resolução sugeriu como explicação plausível que os algoritmos e as técnicas ensinadas na escola para a realização das operações aritméticas pudessem constituir um obstáculo para o raciocínio da criança. Este obstáculo será tanto maior quanto mais numerosas as atividades dependentes do uso do papel e do lápis, por serem distantes e diferentes das habilidades "naturais" das crianças entrevistadas. Parece que a escola, ao padronizar os métodos e a linguagem para a resolução de problemas sem se importar com os conhecimentos prévios das crianças, não somente não potencia e explora estes últimos, mas também não consegue atingir seu próprio objetivo de ensino. Como resultado, se opera uma marginalização de um tipo de criança acostumada a contextos culturais diferentes dos da escola e uma seleção "natural" das crianças que por razões sociais vivem cotidianamente a cultura e a linguagem da escola.

## 2. EDUCAÇÃO DIALÓGICA E ENSINO DE CIÊNCIA

O tema constante da reflexão educacional de P. Freire é o desenvolvimento de uma educação dialógica na qual os processos de crescimento do educador e do educando se complementam e se potenciam; ela se opõe aos efeitos massacrantes da educação "bancária", exercida pelo educador sobre o educando e perpetuante da ideologia elitista de uma sociedade injusta.

O ponto essencial da tese freiriana é a realização de um diálogo entre educador e educando, no qual cada um adquire novos conhecimentos efetivos, capazes de ampliar sua consciência

e seu entendimento da realidade. Para tanto, propõe como condição indispensável de uma educação dialógica a escolha sistemática e metodológica de um contexto familiar ao educando, em termos de objetos de estudo, operações, linguagem e atividades intelectuais.

O crescimento do educador se dará através da percepção mais detalhada e mais específica da realidade e do contexto do educando; o crescimento deste último será uma visão mais abrangente e mais sistemática de sua realidade e da relação entre ela e a realidade global.

Em concreto, a interação começará mediante uma investigação temática realizada em conjunto e capaz de levar a escolha de temas "geradores" de interesse vital do educando; a partir de les será definido o conteúdo programático das atividades que constituem a ação educacional. Este tipo de processo, que inicialmente tem se mostrado particularmente significativo na educação informal dos adultos (tanto na etapa de alfabetização quanto na complementação pós-alfabetizatória) é atualmente objeto de análise e de pesquisa visando sua aplicação ao ensino de Ciência.

Dois experiências chamam a atenção pela criatividade dos autores em "traduzir" a problemática freiriana a um contexto de educação formal: o projeto de programação de Ensino de Ciência para o primeiro grau na Guiné-Bissau (Delizoicov, 1982; Angotti, 1982) e o Ensino de Ciência a partir dos problemas da comunidade (Pernambuco, 1981), com professoras primárias da zona rural do Rio Grande do Norte.

No projeto de Ensino de Ciência da Guiné-Bissau, o levantamento preliminar da investigação temática envolveu a análise das fontes secundárias (dados escritos) e a realização de con

versas informais com alunos, pais, representantes de comunidades locais; o resultado foi a escolha de situações exemplares relativas aos meios e às relações de produção, codificadas mediante cartazes, fotos, relatos significativos. Essas codificações foram discutidas nos Círculos de Investigação temática, nos quais os organizadores centrais do processo e os representantes dos professores provenientes de várias etnias do país procuravam analisar sistematicamente os respectivos contextos e estruturas teóricas para selecionar os temas geradores da aprendizagem de Ciência Natural ao nível da 5ª e 6ª série do primeiro grau. Esses temas deveriam englobar os problemas mais vivos levantados anteriormente e encerrar as contradições mais importantes vividas pelas comunidades locais: no caso, o problema da língua oral diferente da escrita, das doenças e de sua cura, da educação comunitária na aldeia e sua relação com a educação científica, da tecnologia artesanal e sua relação com a indústria externa, da produção local de material didático e sua relação com os materiais importados.

Como tema central para a 5ª série foi escolhido o da Agricultura, por sua possibilidade de integrar as reflexões sobre os modos de produção dominante e sobre os fenômenos naturais dos quais a produção dependia; os subtemas da "água na Agricultura", do "solo" e dos "instrumentos agrícolas" foram os pontos de partida para a redução temática. Para a 6ª série, os temas centrais foram da "energia" e da "saúde", o primeiro originado pela opção de desenvolvimento do governo e o segundo, pela intensa problemática cultural associada.

O processo de redução temática dos temas geradores em atividades concretas a serem desenvolvidas nas respectivas salas de aula obedeceu a duas diretrizes.

A primeira foi a procura de correlação entre o período natural (de atividade produtiva e agrícola e das chuvas) e o período letivo, de maneira a garantir um sincronismo entre o estudo teórico da escola e a vivência natural dos problemas da comunidade local.

A segunda foi a escolha dos processos de transformação como enfoque sistemático das situações e dos temas escolhidos, para que o conhecimento adquirido pudesse ser útil nos próprios processos.

Como resultado final do intenso trabalho de colaboração entre professores e organizadores, obteve-se, além da programação das atividades escolares, também um livro didático, adequado às condições locais e capaz de estimular a dialogicidade da instrução, um guia do professor e um conjunto de materiais experimentais totalmente produzido localmente e substituindo a importação sistemática anterior.

Mediante este processo, os professores, além de se tornarem usuários competentes do material e da programação preparados, adquiriam a capacidade de discutir e eventualmente adaptar às situações específicas este mesmo material, a partir de sua interação com os alunos.

Ao invés de material perfeito "à prova do professor" da década de sessenta e início de setenta, a metodologia dialógica prefere um material mais grosseiro, mas capaz de ser adaptado pelo próprio professor, por ter sido por ele produzido e por se referir a situações familiares a ele e aos alunos.

O Ensino de Ciência a partir dos problemas da comunidade é uma proposta análoga que procura sintetizar os enfoques de experiências anteriores voltadas para a atuação da escola na



melhoria da vida e da organização da comunidade local.

Ela pode ser caracterizada pelos seguintes aspectos (Pernambuco, 1985):

- 1) A educação científica pode ser um instrumento importante para preparar, estimular e acompanhar transformações sociais.
- 2) Para tanto, se propõe a difundir para os alunos, a escola e as organizações locais o conhecimento das Ciências Exatas e Naturais necessárias para participar efetivamente do processo social; a finalidade do ensino de Ciência é elaborar conteúdos concretos e dinâmicos que facilitem a ação e a compreensão do de estudantes, professores e membros da comunidade.
- 3) Como metodologia de trabalho, busca encontrar as contradições que caracterizam o modo de vida de uma certa população através da análise das variáveis que a determinam; em particular, procura focalizar os "princípios de organização" da vida da comunidade, os meios de produção, as tradições culturais e as relações de produção, para deles extrair temas gerais de discussão e fontes de questões. A partir desses temas é produzida uma seqüência de atividades programadas, visando a aquisição de determinados conhecimentos científicos, da estrutura da Ciência que domina este conhecimento e de sua história.
- 4) Finalmente, propõe que a sala de aula se transforme num lugar de produção de conhecimentos a partir da colaboração entre educador e educando.

A realização prática deste projeto foi bastante semelhante à da Guiné-Bissau, desde levantamento temático das peculiaridades da região e da vida local, até a análise e a discussão do papel específico do conteúdo das Ciências, suas metodologias

e estruturas e a definição dos temas principais, "água", "saúde" e "agricultura"; a partir deles foi programada uma seqüência de atividades escolares envolvendo alunos, professores e atividades comunitárias.

A diferença entre o projeto da Guiné e o da zona rural do Nordeste está no contexto sócio-político encontrado: o primeiro contava com o apoio do governo central, ao passo que o segundo era uma iniciativa particular, apesar de contar com recursos de instituições federais. O Projeto da Guiné-Bissau constituiu um esforço de orientação da educação para dar **continuidade, suporte e aprofundamento** a uma mudança política e social já realizada a nível de nação; o projeto do Nordeste se propunha **antecipar e dinamizar** os anseios, muitas vezes implícitos, de mudanças sócio-econômicas da população. No projeto da Guiné-Bissau existia uma expectativa coletiva de inserção da educação no contexto sócio-político; no Projeto do Nordeste, entre os educandos predominava a idéia de que a educação científica deveria ser isenta de envolvimento em problemas sociais. Por isso, as dificuldades encontradas, a participação coletiva e os resultados em termos de aprendizagem foram diferentes; sobretudo a participação dos professores nas discussões e no planejamento das atividades foi diferente e, conseqüentemente, sua modificação de mentalidade.

### 3. CONCLUSÕES

Neste capítulo, abordamos o caráter educacional mais amplo do ensino de Ciência, analisando sua relação com o contexto social. A bibliografia sobre o assunto é bastante limitada,

em se tratando de um aspecto alternativo aos enfoques tradicionais mais voltados para a melhoria técnica, metodológica e psicológica do ensino.

Por outro lado, a contribuição das pesquisas analisadas é exemplar, pois desloca o problema para aspectos pouco considerados do ensino de Ciência, que fornecem indicações e sugestões indispensáveis para uma visão crítica do ensino de Ciência e da atividade do professor.

Os pontos fundamentais que se referem à relação professor-aluno foram:

- Os aspectos de domínio e dependência considerados naturais e normais e não como concretizações particulares e limitadas da transmissão e produção de saber na escola.
- Os aspectos ideológicos da prática educacional que têm como pressuposto o privilégio do conhecimento científico e da atividade do docente, mediadora entre este conhecimento e o saber comum dos estudantes.
- O aspecto seletivo da prática escolar, que privilegia determinadas habilidades, linguagem e códigos em detrimento das possibilidades reais de estudantes oriundos de classes sócio-econômicas menos favorecidas.
- A possibilidade de uma interação no interior da escola entre professores e estudantes e entre as várias disciplinas para produzir e transmitir um conhecimento prático e de relevância para as situações concretas do dia a dia.
- A possibilidade de uma interação entre escola e comunidade visando preparar ou aprofundar uma mudança sócio-política.

Estas propostas e estas análises não são isentas de problemas e de críticas, sobretudo quando pretendem abranger a totalidade dos aspectos educacionais do ensino de Ciência. Os que consideramos mais importantes são:

- 1) Negligência da distinção entre saber prático e saber teórico, e a ênfase no primeiro sem um espaço adequado para o segundo. Em particular, isso implica na expectativa de que todo o saber possa ser construído num diálogo a partir da análise de elementos práticos, e de que todo o saber importante é essencialmente interdisciplinar. Isso envolve de fato um corte arbitrário na aprendizagem de Ciência de todos os elementos científicos de natureza heurística que caracterizam as fases do desenvolvimento das várias disciplinas.
- 2) A negligência da distinção entre saber e não-saber, que envolve aspectos assimétricos na relação professor-aluno. Isso implica que o próprio exercício do diálogo na escola deva ser enquadrado numa visão que deixa espaço também para a efetiva transferência para o aluno do saber estruturado do professor e não somente a construção de um novo saber a partir da colaboração de competências específicas de educadores e de educandos.

A análise das relações institucionais ao interior da prática de ensino, sobretudo quando exercidas numa instituição dedicada à pesquisa científica, abrange aspectos mais gerais que são indispensáveis para interpretar seus resultados. O discurso de professores e alunos sugere a articulação de modelos de ensino que constituem possíveis "estratégias institucionais" em contextos mais amplos. Podemos apontar para as "estratégias diferen

ciadas" em relação aos alunos, realizando, de um lado, a formação de uma elite encaminhada para um tratamento colateral com introdução à pesquisa, de outro lado, o controle e o enquadramento dos alunos que aceitam, pelo menos, as regras fundamentais de convivência e de comunicação da Instituição e, finalmente, a marginalização dos restantes. Qual o significado dessas estratégias típicas de Instituições Universitárias de Ensino e Pesquisa dentro do contexto da sociedade? Podemos apontar para a diferença entre os modelos de ensino praticados nas aulas de teoria e de laboratório como sintoma de uma competição mais ampla entre atividades teóricas e experimentais, em detrimento destas últimas, no interior da Comunidade Científica Nacional (Villani, 1983). Qual o significado social desta competição?

Existem trabalhos no exterior (Althusser, 1970) e também no Brasil (Freitag, 1977) que analisam a Instituição Escolar como Aparelho Ideológico do Estado com função de sustentar e justificar as diferenças de classes da sociedade. Em que medida as análises mais específicas por nós apresentadas podem ser interpretadas dentro dessa visão? Em que medida estas mesmas análises introduzem elementos capazes de apontar para articulações novas e menos simplistas dentro das várias Instituições Escolares? Em particular, qual o significado global da Educação Científica?

Todas essas questões, mesmo antes de poder serem respondidas de maneira sistemática, constituem pontos de partida para as reflexões dos educadores e dos futuros educadores na perspectiva de obter uma visão geral provisória de sua função na sociedade.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- Althusser, L., "Idéologie et Appareils Ideologiques d'État", La Pensée, Paris, 1970.
- Amidon, L.; Hough, E. (eds.), "Interaction Analyses: Theory, Research and Applications", Addison-Wesley Publ., 1967.
- Angotti, J.A.P., "Solução Alternativa para a Formação de Professores de Ciências...", Dissertação de Mestrado, IFUSP-FEUSP, 1982.
- Bohoslavsky, R., "Psicopatologia del Vinculo Professor-Alumno: el Professor como Agente Socializante", Rev. de Ciência de la Educacion (1975) pp. 84-115.
- Carraber, T.N.; Carraber, D.W.; Schliemann, A.D., "Na Vida Dez; na Escola, Zero: ...", Cad. Pesq. 42 (1982) pp. 79-86.
- Delizoicov, D., "Concepção Problematizadora para o Ensino de Ciências na Educação Formal", Dissertação de Mestrado, IFUSP-FEUSP, 1982.
- Freitag, B., "Escola, Estado e Sociedade", EDART, São Paulo, 1977.
- Hersen, M.; Barlow, D.H., "Simple Case Experimental Designs: Strategies for Studying Behavior Change", Pergamon Press, Oxford, 1976.
- Kishinami, R.I., "Análise das Relações Institucionais em um Curso Básico de Física", Dissertação de Mestrado, IFUSP-FEUSP, 1982.
- Pernambuco, M.M.C.A., "O Ensino de Ciências a Partir dos Problemas da Comunidade", Dissertação de Mestrado, IFUSP-FEUSP, 1981.
- Pernambuco, M.M.C.A., "Relatório do Subprojeto: Ensino de Ciências a Partir de Problemas da Comunidade", Publicação Interna UFRGN, 1985.
- Villani, A.; Kishinami, R.I.; Hosoume, Y.; Pacca, J.L.A., "Analysis of Institutional Relations in an Introductory Physics Course", Publicações IFUSP/P-396 (1983).

### VIII. UMA NOVA VISÃO DE ENSINO DE CIÊNCIA

Tomar conhecimento dos problemas e das dificuldades é meio caminho andado para se procurar soluções e planejar mudanças. É o que fizemos com paciência, abundância de detalhes e justificativas nos primeiros sete capítulos deste nosso trabalho, nos quais levantamos as dificuldades que a formação do professor encontra quando confrontada com a exigência ideal de fornecer ao estudante uma cultura científica e profissional adequada às conquistas mais modernas nas áreas das disciplinas científicas e da educação científica.

Vimos as características da concepção "espontânea" de ensino de Ciência que, de fato, orienta nossa prática em todos os níveis de ensino; mostramos que as idéias de Ciência e de Física, inclusive de seu desenvolvimento, implícitas nessa visão espontânea são "estereotipadas" e não se ajustam às contribuições das pesquisas mais recentes no campo da História e Filosofia da Ciência; contestamos a visão do estudante como sujeito passivo de nosso ensino, mostrando que ele elabora uma concepção "alternativa" da natureza, concepção que se apresenta extremamente enraizada e capaz de influenciar profundamente o processo de aprendizagem na escola. Vimos também que mesmo uma formação prolongada, envolvendo inclusive a participação ativa do estudante em pesquisas científicas, não garante a reformulação de suas concepções "espontâneas". Analisamos rapidamente o problema das estra

tégias de ensino, salientando as contribuições e os limites de várias linhas metodológicas, da Tecnologia de Ensino e dos grandes Projetos; em particular, apontamos sua pouca preocupação com a mudança conceitual dos estudantes, e a conseqüente ausência de tratamentos metodológicos adequados.

Finalmente, levantamos o problema da dependência na relação pedagógica, de suas implicações ideológicas e descrevemos algumas tentativas de tornar o ensino de Ciência mais vinculado com a problemática social.

Estamos agora em condições de formular critérios positivos para o estabelecimento de um currículo para a formação de docentes em Ciência e em Física em particular, coerente com nossa aspiração.

Neste capítulo, procuraremos delinear os novos pressupostos, os novos conteúdos e as novas práticas que devem caracterizar o ensino de Ciência para tornarem a aprendizagem dos alunos mais fácil e mais significativa.

No próximo capítulo, discutiremos o problema da elaboração de um currículo de Licenciatura em Ciência fornecendo nossas sugestões a respeito.

## 1. IDÉIAS BÁSICAS DE UMA NOVA VISÃO DE ENSINO DE CIÊNCIA

O esboço de "modelo" de ensino de Ciência que apresentaremos neste item é compatível com as teorias de conhecimento de tipo construtivista, com muitos dos resultados das pesquisas sobre Concepções Espontâneas, História e Filosofia da Ciência, com as inovações mais significativas introduzidas pelos grandes



projetos e com as expectativas de participação de alunos, professores e pesquisadores.

Este esboço será apresentado, analogamente ao que fizemos para o "modelo" espontâneo, focalizando os pressupostos e os aspectos significativos de quatro elementos: a aprendizagem, o conteúdo, a arte de ensinar e as relações institucionais.

### 1.1. A Aprendizagem

A mente dos alunos não é uma "tabula rasa", na qual possam ser gravadas à vontade novas informações e novos conhecimentos científicos.

A aprendizagem de novos conhecimentos depende dos conhecimentos anteriores, não somente porque estes constituem os pressupostos, a condição de possibilidade e a motivação daqueles, mas também porque entre eles se dará uma interação e deles dependerá a construção pessoal do novo conhecimento.

A construção da visão científica da natureza se dá utilizando as famosas "estruturas" operacionais piagetianas e envolvendo a interação entre as idéias "espontâneas", coaguladas em torno de "protótipos" cognitivos, e as idéias científicas, veiculadas através dos recursos educacionais, principalmente verbais, ligados a uma linguagem especializada, com a mediação contínua da experiência sensível.

As idéias espontâneas, que constituem o produto do pensamento natural, são construídas a partir da interação com o mundo físico: mediante a elaboração e estruturação esquemática da ação no mundo natural, esquemas e até estratégias de análise dos fenômenos são produzidos e guardados na memória.

As percepções, construídas a partir da interação com o mundo físico mediante as sensações, produzem informações individualizadas e, às vezes, estruturadas e especializadas, que também são guardadas na memória.

Finalmente, a interação social, mediante a utilização da linguagem, elaborada coletivamente pela sociedade e anteriormente ao sujeito, também fornece informações, quase sempre estruturadas e que carregam um significado ao qual o sujeito tenta se adaptar.

De fato, as informações sobre o mundo físico que vêm através da comunicação verbal são de dois tipos: um, que utiliza uma linguagem elaborada, especializada e em geral abstrata e tematizada, e o outro, que partilha da linguagem do dia-a-dia e que constitui o patrimônio da divulgação científica, compromisso entre a significação científica e o pensamento natural.

O pensamento natural, então, é a fonte das idéias "espontâneas", o ensino de Ciência, pelo menos em parte, é a fonte da aprendizagem científica, ao passo que o ambiente cultural, inclusive a Escola, é a fonte das idéias mistas.

Através do crescimento intelectual e da utilização de instrumentos intelectuais mais aprimorados, as idéias interagem, em circunstâncias específicas, e novos produtos se formam, normalmente mais articulados.

Uma maneira esquemática de representar o conjunto de idéias sobre o mundo físico que podem caracterizar a visão dos estudantes, é mediante um gráfico bidimensional.

Este gráfico tem dois eixos ortogonais: o da **abstração** e o da **articulação**.

O eixo da **abstração** representa o grau de afastamento

das noções comuns e do pensamento natural e o grau de utilização da linguagem científica; o eixo da **articulação** representa o grau de elaboração conceitual e de relações que caracterizam os conhecimentos; os eixos são, em boa parte, independentes, pois o eixo da articulação se refere à atividade mental do sujeito, ao passo que o eixo da abstração se refere às diferentes fontes de noções. Por isso, uma notável articulação intelectual é compatível com noções familiares e abstratas e, analogamente, noções abstratas podem ser pouco ou muito articuladas.

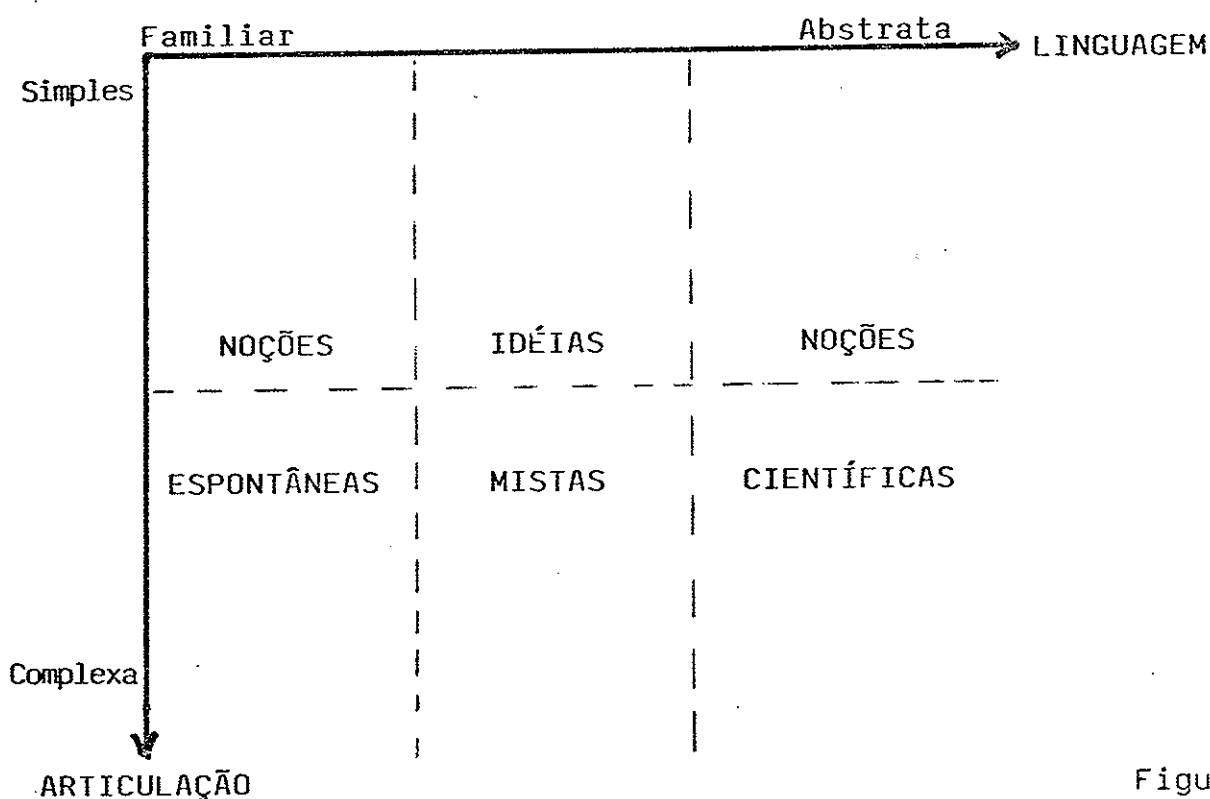


Figura 1

Conseqüentemente, as noções espontâneas podem ser avulsas, como as das crianças ou articuladas, como as que caracterizam uma "teoria do movimento do senso comum".

Analogamente, as idéias científicas podem ser desconexas, como nas definições aprendidas de maneira pouco significativas ou totalmente articuladas, como nas teorias utilizadas pelos especialistas numa determinada área.

É interessante notar que o quadro elaborado, além de representar as idéias que podem ser encontradas no conjunto dos estudantes, pode também representar a situação global de um único estudante com idéias em diferentes áreas científicas.

De fato, ele poderá ter idéias articuladas numa área e pouco articuladas na outra, idéias espontâneas num campo e idéias científicas num outro; poderá ter até idéias primitivas em campos distantes da sua reflexão sistemática.

Às vezes, as idéias científicas se aplicam a um determinado tipo de situação com coerência, mas situações mais complexas podem evocar idéias espontâneas até avulsas.

No que diz respeito à evolução das idéias a partir das sugestões provenientes das várias fontes, podemos afirmar o seguinte.

Quando novas informações são elaboradas e guardadas na memória, em circunstâncias especiais podem interagir com as que já foram guardadas anteriormente.

Se estas últimas não forem muito articuladas, é possível que da interação apareça uma nova estruturação que adquira um peso maior no conjunto dos conhecimentos do sujeito.

Ao contrário, se a interação for com noções bastante estruturadas, poder-se-á ter várias soluções; a mais drástica é uma rejeição pura e simples de nova informação como inconsistente e implausível; a mais simples é sua incorporação e absorção como extensão natural do conhecimento anterior; a mais complicada e trabalhosa é a reformulação parcial ou total do conjunto para formar uma nova estrutura.

Como produto desta atividade, uma informação de tipo espontâneo poderá compor-se para formar um grupo de idéias con-

xas, ou entrar em conflito com idéias científicas e ser rejeitada, ou formar uma síntese mista mais ou menos articulada.

Analogamente, uma informação avulsa em linguagem científica poderá ser rapidamente esquecida, ou assimilada como noção pseudo-científica ou trabalhada como síntese mista ou finalmente incorporada junto com outras idéias científicas para fortalecer ou formar um grupo articulado de idéias científicas.

O processo de purificação ou de decaimento se dará a través da seleção daquilo que for construído com maior elaboração e que tem maior significação pessoal.

Este trabalho de modificação, absorção ou rejeição de idéias se dá através da utilização de operações mentais integradas em estruturas e construídas ao longo do desenvolvimento cognitivo, desde a infância até a idade adulta. Além das operações lógicas, descritas muito detalhadamente por Piaget, outras operações mais complexas e sintéticas parecem funcionar no desenvolvimento do pensamento natural e da aprendizagem científica: as estratégias de operação por limite, por perturbação, por integração, por diferenciação.

A utilização destas estratégias e sobretudo do pensamento analógico depende muito do conteúdo fenomenológico a ser enfrentado e é fundamental, no processo de mudança conceitual, por auxiliar na percepção de contraste e conflitos.

Concluindo nossa análise, queremos salientar o papel importante da escola. Ao produzir uma especialização numa determinada área, a instrução desencadeia progressivamente os recursos intelectuais dos estudantes, que colaboram sistematicamente para a ampliação das noções e das informações a serem integradas, inclusive operando modificações nelas, além de desenvolver as cor

respondentes noções heurísticas. Ao contrário, quando permanece genérica e superficial, como acontece muitas vezes no ensino atual, a instrução tende a produzir idéias mistas, pela falta de preocupação com as imagens heurísticas científicas e com a articulação e a síntese das idéias científicas. Finalmente, o abandono da instrução e da reflexão sistemática sobre os fenômenos naturais a partir de enfoques científicos leva progressivamente ao pensamento do senso comum. Daí a necessidade de reciclagem na formação de professores de Ciência.

### 1.2. O Conteúdo

O segundo tipo de pressuposto se refere ao conteúdo a ser ensinado e aprendido.

Pelas discussões anteriores sobre a natureza e sobre a evolução das idéias científicas, parece-nos evidente que a instrução científica deve focalizar a Ciência enquanto produto de uma atividade especializada que tem importantes reflexos sociais.

A Ciência como produto é dada por seus resultados teóricos mais espetaculares, seus experimentos mais significativos, suas leis gerais e suas idéias heurísticas mais férteis. É importante chamar a atenção sobre este último elemento, pois ele amplia de maneira significativa a concepção atual da Ciência como "pacote" de leis universais com os respectivos exemplos estereotipados e seu conjunto de demonstrações significativas.

A Ciência como atividade é constituída pela elaboração de hipóteses teóricas a partir das intuições heurísticas, pela invenção e exploração de uma linguagem simbólica específica (no caso da Física a linguagem matemática) e pelo planejamento e

realização de experiências sempre mais precisas e refinadas, ligadas aos contextos teóricos em evidência. A característica fundamental da atividade científica é a sua adaptabilidade às circunstâncias: ela é capaz de inovar radicalmente e também de obedecer a padrões metodológicos rígidos; ela pode investir esforços enormes em conseguir diferenças mínimas e pode também desprezar provisoriamente evidências significativas. Somente uma visão histórico-filosófica é capaz de salientar estes aspectos aparentemente contraditórios e fornecer seu significado.

Quanto aos reflexos sociais da atividade científica, dois aspectos deverão ser salientados. O primeiro é que ela é exercida normalmente por um grupo institucionalizado de pessoas, que compete por recursos da sociedade e os divide com outros grupos, tendo, portanto, uma relação básica com o poder estabelecido, com os grupos dominantes, com a realização da justiça e da paz social. O segundo aspecto é que os produtos científicos estão invadindo a vida da sociedade com uma progressiva cientificização da qualidade e da eficiência produtiva e uma conseqüente transformação da linguagem e da comunicação entre as pessoas.

Dentro deste quadro geral, assume um papel significativo a análise escolar dos fenômenos do cotidiano, naturais e tecnológicos; de um lado, esta análise favorece o processo de adaptação dos estudantes à progressiva cientificização da vida e da linguagem comum, fornecendo-lhes instrumentos de atuação prática. De outro lado, cria condições para a promoção de conflitos cognitivos entre a visão espontânea e a visão científica, por serem os fenômenos do cotidiano a fonte do pensamento espontâneo.

O quadro delineado a respeito do conteúdo de Ciência a ser ensinado é bem vasto e abrangente e refere-se a qualquer

tipo de formação que queira ter um embasamento moderno. Os objetivos específicos das várias formações científicas fornecerão critérios adicionais para uma seleção acurada e equilibrada do peso de cada um dos componentes por nós descritos. No caso específico da formação de professores de Ciência, todos os aspectos salientados deverão ter um peso significativo, mesmo que isso implique na redução da abrangência de cada um deles.

### 1.3. A Arte de Ensinar

O terceiro tipo de pressuposto refere-se ao ensinar, ou seja, às habilidades de mediação entre a atividade do estudante e o conteúdo específico a ser aprendido.

A primeira habilidade é óbvia: o professor é o responsável para que os alunos tenham fontes de informação científica adequadas e complementares; isso envolve a habilidade de avaliar e proporcionar tipos diferentes de informações oriundas de fontes diferentes.

A fonte de informação mais comum é a verbal, e pode ser fornecida pelo próprio docente através de sua palavra oral e escrita, ou através de seminários especiais de convidados e dos próprios alunos ou, finalmente, através de livros didáticos e artigos de revistas especializadas.

Este tipo de fonte é indispensável, mas não único; outro tipo é a experimentação, através de experimentos individuais, ou de demonstrações coletivas, ou de filmes didáticos, ou, finalmente, através de simulações.

A segunda habilidade também é bem conhecida. Consiste em proporcionar aos estudantes situações para o trabalho de



esclarecimento pessoal do significado das noções científicas apresentadas: mediante exercícios, problemas e aplicações.

A habilidade do professor está na escolha das situações: que elas não se tornem muito repetitivas e monótonas, nem incluam tarefas tão diferentes que o aluno não consiga uma síntese; as situações mais excitantes são as que envolvem a colaboração entre professor e alunos.

É importante que estas tarefas tenham um esboço de encadeamento, de maneira que o sucesso em uma seja reforço para a execução das seguintes.

Disponibilidade do conteúdo e esmiuçamento pessoal do mesmo constituem a base de qualquer aprendizagem; o fim da aprendizagem é a reformulação deste conteúdo no universo conceitual do estudante. Se às vezes é difícil, em nossas escolas, alcançar a própria base, muito mais difícil é conseguir a integração do conhecimento.

Entretanto, o trabalho de aprendizagem básico depende do contexto no qual é realizado; pode ser mais ou menos difícil em si, mas o que é mais importante é seu significado para o aluno. Tarefas difíceis mas significativas são superáveis, tarefas menos difíceis mas pouco valorizadas podem se tornar irrealizáveis.

Conseqüentemente, o professor deverá ter outras habilidades que dizem respeito ao envolvimento dos alunos no processo de aprendizagem.

A terceira habilidade do professor é a de dialogar e colaborar efetivamente com seus alunos.

Isso implica fundamentalmente em procurar entender as dúvidas e os enfoques dos estudantes, em estimular e acompanhar,

na medida do possível, as tendências de aprofundamento dos mesmos, em complementar e integrar os conhecimentos dos estudantes na construção de novos conhecimentos.

Perceber as dúvidas mais significativas dos estudantes significa intuir o contexto intelectual no qual elas são localizadas e as fontes prováveis delas; perceber os enfoques dos estudantes significa captar os tipos de argumentação que têm preferência por parte deles. Alguns alunos ficam satisfeitos com uma demonstração formal, outros querem idéias intuitivas, outros preferem as gêneses das coisas, outros, ainda, só se rendem à experiência e à fenomenologia. Estimular, dentro das possibilidades, estas tendências torna o trabalho de ensinar também um trabalho de orientação.

Por outro lado, o ponto mais alto do diálogo com os estudantes se realiza na construção de um novo conhecimento a partir do saber do professor e dos alunos. Isso se realiza quando estes últimos escolhem o que deve ser conhecido a partir de contextos mais familiares para eles do que para o docente; a colaboração entre os dois, baseada na mútua confiança, potencia e amplia as capacidades de cada um, além de desencadear processos de aprendizagem independente, autônoma e original.

A quarta habilidade do professor consiste em fomentar as dúvidas e os conflitos nos alunos e dar espaço para as situações desafiadoras.

Trata-se da tarefa mais difícil, porque dúvidas, conflitos e desafios dependem essencialmente do contexto individual. Existem dúvidas de conteúdo que dependem da indefinição na apresentação da teoria ou da experimentação, que são mais simples de serem detectadas, pois estão junto das fontes de informação: en-

tretanto, às vezes, estas dúvidas são tão refinadas que perdem o sentido para os estudantes.

Analogamente, existem desafios que estão acima das capacidades dos estudantes, mas podem ser enfrentados com o auxílio do professor; importantes são aqueles que se referem a situações mais familiares aos alunos, pois sua superação se dará com a efetiva colaboração entre os dois, se constituindo como situações exemplares de construção de novos conhecimentos, pelo menos no âmbito da escola.

Existem também dúvidas e conflitos que dependem da significação dada ao conteúdo científico quando introduzido no contexto individual do estudante; em geral, estas dúvidas são pouco conscientizadas. Para enfrentá-las adequadamente, é preciso encontrar situações nas quais surgem determinadas expectativas para os estudantes que sejam inconsistentes ou incompatíveis com os fatos ou com outras expectativas igualmente fortes. Entretanto, é sempre possível que os estudantes resolvam seus conflitos de maneira "local", sem se preocupar com uma integração cognitiva adequada de seus conhecimentos científicos, pois a percepção da analogia entre situações depende do crescimento intelectual anterior.

Finalmente, a quinta habilidade do professor consiste em proporcionar situações de avaliação.

Existem as avaliações tradicionais, que têm a função de esclarecer, para o professor e para o aluno, se as demonstrações e os exercícios feitos em casa ou em sala de aula foram interiorizados e memorizados e se esta interiorização corresponde aos cânones da linguagem científica: ou seja, se está certo ou errado do ponto de vista da teoria a ser aprendida.

Entretanto, esta forma de avaliação, mais objetiva,

não chega a avaliar o processo de aprendizagem, pois não chega a envolver a "síntese" pessoal que o aluno fez a respeito do conteúdo a ser aprendido ou do problema a ser resolvido.

Para que os alunos (e o professor), tenham uma idéia sobre suas imagens heurísticas, suas idéias "espontâneas", suas sínteses, suas maneiras de resolver problemas ou dúvidas, seus enfoques e suas estratégias cognitivas, seus conflitos mais significativos, são necessárias situações mais complexas, como sínteses escritas, sessões de discussão e de debate, de previsões qualitativas individuais ou em conjunto, sessões de planejamento e de resolução de problemas em grupo. Enfim, tudo aquilo que possa envolver estudantes e professor num questionamento pessoal de suas aprendizagens.

Uma observação atenta do que é feito, sobretudo dos procedimentos que não chegam a ser concluídos durante estas sessões, pode fornecer pistas e indícios interessantes para criar e aprofundar situações de conflito intelectual.

Conseqüentemente, existem dois tipos de avaliação: a **seletiva** e a **formativa**.

A **avaliação seletiva**, geralmente feita mediante testes objetivos, tem a finalidade de selecionar as pessoas que sabem cumprir uma determinada tarefa; não se interessa pelo processo que o aluno fez para aprender, nem pelo significado que a tarefa tem para ele; muitas vezes não se interessa nem pelo grau de generalização da tarefa. Infelizmente, é o tipo de avaliação usual em nossas escolas, que se recusam, muitas vezes, por razões estruturais ou sociais, a introduzir também avaliações formativas, mais complexas, mais demoradas e que supõem uma competência maior.

A **avaliação formativa** tem como contexto o processo de

aprendizagem do aluno, e tem significado unicamente em relação a ele. É realizada para ajudá-lo a perceber os limites, a extensão, a integração, a coerência, a profundidade daquilo que foi apreendido e corrigir ou intensificar os rumos da aprendizagem.

A introdução de sessões de avaliação formativa, que constituem também sessões de aprendizagem mais informal, é um sintoma de mudança de enfoque de um currículo ou de um curso; significa um confronto com a aprendizagem real dos estudantes e não somente com modelos estereotipados da mesma. Envolve também uma mudança da relação pedagógica e das relações institucionais dentro da escola.

#### 1.4. As Relações Institucionais

Finalmente, o quarto pressuposto para a renovação do ensino de Ciência se refere às relações institucionais que a caracterizam.

O primeiro tipo de relação institucional diz respeito à relação pedagógica, que perde o caráter burocrático de exerccício de poder sobre uma turma de alunos obrigados a escutar o professor ou a executar tarefas previamente estabelecidas. Perde também um pouco seu enfoque hierárquico de "iniciação" ao "sa-ber glorioso" possuído pelo professor, para absorver em parte o espírito da colaboração numa tarefa comum, cujo maior interessado é o próprio aluno.

Esta colaboração pode se dar ao nível do conteúdo a ser aprendido; tendo sido ampliado o campo no qual o professor deverá exercer sua competência, pela introdução de conteúdos oriun-dos de disciplinas como História e Filosofia da Ciência e Educa-

ção Científica, será muito mais fácil que os alunos colaborem na localização das fontes e na avaliação da adequação das mesmas.

Mais ainda, quando o conteúdo se refere a situações mais familiares aos alunos do que ao professor, esta colaboração torna-se indispensável. Colaboração importante se dará também no aprofundamento do estilo e do enfoque cognitivo dos estudantes e no levantamento de suas dúvidas e seus conflitos e das situações adequadas de desafio; sem um esforço considerável dos estudantes em detectar suas posições intelectuais, o trabalho do professor, além de ingrato, se tornará efetivamente inviável.

Finalmente, ao nível da avaliação formativa, o esforço do professor em localizar situações adequadas deverá corresponder a uma abertura dos alunos em explorar as mesmas.

Uma outra consequência da mudança de enfoque em relação ao ensino de Ciência é atribuído à colaboração entre estudantes.

Esta colaboração, de fato, já tem um papel importante na aprendizagem real mesmo nos cursos tradicionais atuais, pois é nesta colaboração que grande parte das dúvidas e dos esclarecimentos são alcançados. Num curso que focaliza a aprendizagem dos estudantes explicitamente, a colaboração se estende a todas as atividades em grupo que têm como finalidade revelar o pensamento dos próprios estudantes ou planejar situações para novas aprendizagens.

Na medida em que estes colaboram levantando seus pontos de vista, e seus problemas, não somente a tarefa do professor se simplifica, não somente os estudantes se confrontam com suas próprias concepções, mas também no confronto com as concepções recíprocas aparecem e são solucionados conflitos importan-

tes e são definidos problemas importantes a serem enfrentados.

A conseqüência imediata desta colaboração é uma divisão da responsabilidade e das decisões sobre o ensino (programação, execução, exercícios, sessões coletivas, tipos de trabalhos, avaliações e ritmo de trabalho).

Uma outra conseqüência é que do ponto de vista do professor também se dá uma aprendizagem; além do aprofundamento do conteúdo, através da contínua reformulação do mesmo para detectar os seus aspectos menos conhecidos, um outro aprofundamento se dará no próprio exercício da atividade de ensino: o conhecimento dos alunos e de suas maneiras de aprender, e de suas idéias e estratégias "espontâneas" e de seus problemas. Conseqüentemente, o exercício da docência se torna um campo de conhecimentos inexauríveis.

Um segundo tipo de relação institucional que se modifica é a que envolve os docentes de uma instituição. Na medida em que os problemas e os conhecimentos dos estudantes se referem a situações complexas ou concretas, seu tratamento implica na discussão e na colaboração entre os docentes de várias disciplinas. Esta colaboração pode ser eventual e limitada a situações ou ocasiões especiais ou pode ser estável e envolver até uma reformulação total das atividades didáticas e do próprio conteúdo a ser aprendido. Este tipo de colaboração interdisciplinar supõe no professor não somente a capacidade de superar interesses pessoais ou específicos da disciplina para se adaptar à problemática geral, mas também a firmeza e solidez do conhecimento disciplinar, para que seus elementos essenciais não sejam menosprezados na redefinição do papel de cada disciplina e possam contribuir significativamente na formação do estudante.

Um terceiro tipo de relação institucional que se re-estrutura é a relação entre a pesquisa e a docência, que, pelo me- nos em parte, se reconciliam.

Esta colaboração se dá em duas direções. De um lado, a pesquisa na disciplina específica ajudará a levantar as ima- gens, os pressupostos e os rumos das teorias utilizadas, assim co- mo das teorias mais modernas e a apresentar os mesmos para os es- tudantes. De outro lado, a docência, pondo-se em contato com as idéias intuitivas e as sínteses dos estudantes, com suas proble- máticas às vezes complexas e com as soluções científicas do pas- sado atualmente abandonadas, ajudará a questionar e a reformular os pressupostos científicos e as idéias heurísticas utilizadas, de maneira que se tornem mais evidentes e mais convincentes.

É esperável que esta colaboração contribua não somen- te para acabar com a dicotomia que muitos pesquisadores sentem quando pensam em sua atividade docente, mas também para tornar o próprio ensino mais vivo e mais ligado à cultura do tempo.

## 2. CONCLUSÕES

A caracterização da nova visão de ensino de Ciência tem apontado como centro das atenções e critério de avaliação de toda atividade didática a aprendizagem dos estudantes, como pro- cesso de elaboração e construção de noções articuladas a partir das informações fornecidas pela escola, da atividade intelectual e da interação social.

Entretanto, este processo de elaboração é condiciona- do pelos conhecimentos e pelas estratégias do pensamento natural.



Quando o conhecimento científico é aprendido, mesmo no caso mais feliz no qual ele é analisado e apresentado como um conjunto estruturado, ele começa a interagir com as outras idéias do sujeito, sendo questionado e confrontado com outras noções e informações de tipo científico ou natural.

O processo de ajustamento envolve uma longa série de dúvidas, de conflitos e de mudanças de significado a serem realizadas de maneira consciente ou, pelo menos, implícita.

Como resultado final estável, este conhecimento se tornou parte integrante das idéias, assumindo simultaneamente parte das significações que estavam presentes na sua mente.

Se o processo de elaboração continuar, este conhecimento poderá, aos poucos, recuperar muitos dos aspectos iniciais que ele tinha como produto científico, ao ser reforçado, na mente do estudante, por relações com outras noções do mesmo tipo e por exemplos sistemáticos e estratégicos que sustentem suas relações científicas fundamentais. Uma vez atingida a autonomia intelectual, ou seja, o domínio de uma determinada área de conhecimentos, tornando-se o instrumento quase automático de interpretação daquilo que se refere a esta área, este conhecimento pode começar a expandir-se em outros campos, através de analogias.

Nessa altura, já terá elaborado um conjunto de imagens simbólicas e esquemáticas capazes de guiar nas aplicações análogas. Pode ser que estas imagens entrem em conflito com os protótipos espontâneos elaborados mediante pensamento natural: se isso acontecer, as chances de uma integração do conhecimento aumentam. Pode ser que este processo se amplie sempre mais, aumentando seu poder e ampliando seu campo de ação. Pode ser que outros conhecimentos sejam assimilados e entrem em conflito com o

anterior; entretanto, os conflitos podem ser resolvidos também se parando a área de domínio de cada um.

Certamente, é quase impossível obter como resultados todas as noções integradas num conjunto hierarquicamente organizado e que se completa. Difícil, mas não impossível, é a organização dos conhecimentos científicos capaz de abranger todas as noções que dizem respeito a uma parte do mundo físico e a sua interpretação. Menos difícil ainda é estruturar o conhecimento científico de maneira que mantenha o seu significado original. Trata-se de tomar consciência operativamente da diferença de enfoque entre o conhecimento natural e as teorias científicas, sem misturar as noções: ter consciência de que se está utilizando um ou outro enfoque de forma adequada. Isso é possível quando cada enfoque tem suas imagens sintéticas e suas noções heurísticas adequadas.

Será possível obter um pensamento científico integrado durante a formação escolar?

Nossa tese é positiva a esse respeito e se fundamenta em duas razões: a primeira é que, de fato, os estudantes mais ativos conseguem obter um pensamento científico mais integrado, explorando suas capacidades naturais e seu desejo intelectual de sistematização. Isso significa que a tarefa não é impossível de ser alcançada.

A segunda razão é que, de fato, a formação atual para a Ciência é bem falha, pelo menos a obtida através da educação científica escolar e, conseqüentemente, é esperável que sua melhoria modifique o produto final, que é a aprendizagem dos alunos.

Esta esperança torna-se maior ainda quando se obser-

que a falha fundamental do ensino atual não é a extensão dos conteúdos ou sua limitação, mas é a ausência de atenção para o processo de estabilização e de integração do conhecimento científico, que se reflete na ausência de conscientização do pensamento "espontâneo", na ausência de elaboração de suportes qualitativos e heurísticos ao pensamento científico, e na ausência de utilização do conhecimento científico nas situações familiares aos alunos.

Em primeiro lugar, merece atenção a relação entre as aplicações fenomenológicas do conhecimento científico e a mudança de enfoque conceitual dos estudantes. Os fenômenos físicos com os quais vêm em contato no dia-a-dia são de dois tipos, pois sua interpretação pelo pensamento espontâneo pode exigir ou não elaboração. Em nossa opinião, uma das condições necessárias para que haja conflito, na mente dos estudantes, entre suas expectativas e os dados empíricos é que, além das previsões serem inadequadas, os próprios fenômenos sejam de interpretação ambígua. De fato, quando isso não acontece, muito maior é a possibilidade de explicações "locais". É nas análises dos casos "ambíguos" que existem possibilidades de aceitação do modelo científico, com conseqüente tendência a expandir seu campo de utilização.

Em segundo lugar, é importante frisar que algumas habilidades do professor como mediador da aprendizagem dos estudantes são totalmente desconhecidas enquanto objetivos a serem atingidos na sua formação. Estamos nos referindo à habilidade de "criar" conflitos intelectuais nos estudantes, que supõe um conhecimento bastante aprofundado das suas noções e das suas estratégias intelectuais, e habilidade de avaliá-los formativamente, que supõe também uma atenção ao significado atribuído às várias no-

ções por parte dos estudantes, durante as discussões ou na execução de tarefas de tipo qualitativo. Estamos nos referindo também à habilidade do professor em fomentar os desafios dos estudantes, que supõe no professor, além de um conhecimento científico bem articulado, também a capacidade de enfrentar novas situações, de explicitar suas intuições mais felizes e mais eficazes e de extrair dos estudantes informações interessantes em relação aos problemas enfrentados.

Com isso, terminamos nossa exposição da nova visão de ensino de Ciência, de seus novos pressupostos, de seus novos conteúdos e de suas novas práticas. Esta visão constitui a base para construir um currículo melhor para a formação dos futuros docentes, pois acreditamos que se eles forem preparados para exercer este novo tipo de ensino de Ciência, não somente realizarão uma atividade mais satisfatória porque mais eficiente, mas também perceberão que esta atividade é mais humana, pois envolve uma imagem de Ciência e de aprendizagem mais humana.

O problema que nos resta a tratar é a discussão específica do conteúdo e das atividades necessárias para a formação dos futuros docentes, para que, profissionalmente, eles possam enfrentar uma nova prática de ensino de Ciência.

## IX. SUBSÍDIO PARA O CURRÍCULO DAS LICENCIATURAS EM CIÊNCIAS

O processo de elaboração e implementação de um currículo concreto é bastante complexo, mas pode ser sintetizado em três fases distintas. A primeira é a da escolha das linhas mestras e das idéias heurísticas básicas que norteiam a elaboração de um esboço. A segunda é a da negociação "política" dos detalhes do currículo. A terceira é da interpretação e implantação concreta por parte de professores e estudantes nas atividades didáticas.

A primeira fase é caracterizada pela busca de uma coerência interna do projeto e pela explicitação de um desenho articulado. A segunda fase, em grande parte "política", é caracterizada pela acomodação dos interesses de grupos ou individuais e pelos jogos de poder existentes na Instituição. Finalmente, a terceira fase é caracterizada pelas competências e pelas preferências de professores e alunos.

Às vezes as três fases são desconexas: o detalhamento "político" do currículo precede ou desvirtua a elaboração de um esboço unitário e a realização do currículo não tem muito a ver com o detalhamento burocrático. O caso mais feliz é quando as três fases são intimamente relacionadas, cada qual acrescentando às anteriores: se o esboço for adequado às necessidades da comunidade e esta tiver tido oportunidade e capacidade para assi

milá-lo e aprová-lo ou modificá-lo, seu sucesso não será difícil.

Nosso trabalho se refere essencialmente à primeira fase: a apresentação, feita no capítulo anterior, de nossa concepção de ensino de Ciência, pretendeu fornecer, além de um conteúdo para a análise, a reflexão, o debate e a reformulação por parte dos futuros docentes, também os elementos fundamentais para a elaboração do esboço de um currículo adequado às necessidades da formação de docentes, que irão atuar em Escolas ou Centros de Educação Científica estrategicamente importantes. Trata-se, então, de uma formação que exige um esforço especial da comunidade que irá realizá-la, pois envolve as competências mais modernas com respeito à Educação Científica.

Três tipos de definições importantes caracterizam a elaboração do esboço de um currículo de Licenciatura em Ciência.

O primeiro se refere à estrutura do currículo e à sua relação como o do Bacharelado correspondente.

O segundo se refere ao conteúdo, científico e educacional, objeto de aprendizagem dos futuros docentes.

O terceiro se refere às atividades didáticas que devem caracterizar a formação do professor. Naturalmente, nossa divisão em estrutura, conteúdos e atividades é puramente analítica, pois não se dão atividades sem conteúdos e sem relações estruturais entre eles, nem aprendizagem de conteúdos sem atividades correspondentes e sem relações entre elas; entretanto, a divisão é importante para podermos tratar de maneira mais aprofundada cada categoria. É o que faremos nos próximos itens.

## 1. CIÊNCIA E DOCÊNCIA

O professor de uma Ciência deve ser formado primeiro como professor, ou seja, mediador de aprendizagem, ou primeiro como especialista numa determinada disciplina científica?

O professor de uma Ciência deverá ter uma formação científica comum com os seus colegas que irão exercer a atividade de pesquisa na disciplina, ou sua formação deverá ser especializada desde o começo? O professor de uma Ciência deverá ter uma formação educacional comum com todos os outros licenciandos, ou sua formação deverá refletir a especificidade do saber que ele irá tratar profissionalmente?

É de importância que todas essas perguntas sejam respondidas, pois suas respostas definirão a estrutura do currículo.

Mesmo admitindo que caminhos diferentes possam conduzir a resultados análogos e que uma formação excelente e adequada pode ser o resultado de estratégias diferentes, a escolha das estratégias que, possivelmente, irão maximizar os resultados é um imperativo para quem pretende formular o esboço de um currículo.

Dois princípios heurísticos nos ajudarão na formulação de nossas respostas às perguntas propostas anteriormente.

O primeiro princípio é que o saber teórico e o saber aplicado são diferentes e sua aprendizagem exige um tratamento diferente, disciplinar o primeiro, interdisciplinar o segundo.

O segundo princípio é que o saber teórico exige um tempo de amadurecimento longo para que sua estrutura intrínseca se torne domínio do aprendiz.

Se, durante a formação, o futuro professor não conseguir construir uma visão própria da disciplina que ele quer ensi

nar, muito dificilmente conseguirá isso depois da formação, quando a pressão para a utilização de um saber prático ligado à docência irá constituir o pano de fundo de todas as suas preocupações. É verdade que às vezes situações concretas de docência exigem aprimoramentos teóricos abstratos e disciplinares, entretanto, estes terão mais facilidades de sucesso se o docente tiver construído um esquema conceitual mais geral anteriormente.

Toda essa discussão nos leva, portanto, a concluir que a primeira preocupação a ser garantida pela formação de um futuro docente é em relação ao conteúdo científico disciplinar, mediante uma fase básica dedicada prevalentemente a ele. O esforço maior de formação do docente enquanto mediador de aprendizagem deverá ser realizado numa segunda fase, junto com um aprofundamento do saber disciplinar seletivo e mais voltado para as necessidades específicas da docência.

Nossa argumentação se complementa naturalmente na análise da relação entre Licenciatura e Bacharelado: durante o período de formação básica não deveriam existir diferenças entre os dois currículos. A formação básica, cuja finalidade é criar nos aprendizes uma maneira de olhar os fenômenos, típica da disciplina e diferente da maneira "espontânea", é obtida somente com uma dedicação global e concentrada nela, e não diferencia o futuro professor do futuro pesquisador, pois define as bases comuns de seu saber específico. Nesta fase, na qual a importância maior é a construção de uma primeira síntese pessoal, o saber é analisado e esmiuçado por ele mesmo, independente da relação que ele terá com a futura atividade profissional de aprendiz. É somente após esta primeira construção pessoal que o estudante poderá escolher com mais fundamento se ele se dedicará profissionalmente à



"produção", à "aplicação", ou à "divulgação" deste saber. Será uma escolha baseada não na visão romântica da adolescência, mas na experiência de contatos e de vivência com pesquisadores e professores.

Finalmente, em relação à terceira pergunta, sobre a formação educacional do futuro professor, nossa posição também é definida. O saber educacional do futuro professor de Ciência é eminentemente aplicado e, portanto, deve ser construído de forma prevalentemente interdisciplinar. Isso não-exclui, evidentemente, a existência de algumas atividades, comuns a todos os Licenciandos, que, além de providenciar a elaboração de um saber educacional mais geral, permitam também a convivência e a interação de pessoas com formação diferente; entretanto, a parte mais importante da formação educacional do futuro docente deverá refletir as exigências específicas de sua profissão.

## 2. OS CONTEÚDOS

A estruturação da análise do ensino de Ciência feita nos capítulos anteriores sugere a utilização de duas dimensões para caracterizar os conteúdos a serem aprendidos pelos futuros docentes.

A primeira dimensão se refere ao objeto de aprendizagem enquanto tal, que pode ser caracterizado como "**científico**" quando se refere à Ciência específica a ser aprendida, ou "**educacional**", quando se refere à aprendizagem, ao ensino e ao processo educacional mais abrangente.

A segunda dimensão se refere ao aspecto institucional

do objeto de aprendizagem, no sentido que ele pode ser proposto (ou imposto) pela Instituição (conteúdo institucionalizado) que cuida da formação ou pelos próprios aprendizes (conteúdo personalizado). Nossa análise dos conteúdos se desenvolverá sobre a primeira dimensão, inserindo comentários sobre a segunda.

### 2.1. Conteúdos Científicos Específicos

As três categorias utilizadas no sexto capítulo para caracterizar as contribuições e os subsídios referentes ao conteúdo da disciplina a ser ministrada (conteúdo formal, empírico e heurístico) expressa, de maneira completa, o objeto de aprendizagem necessário para um desempenho competente e uma formação científico-cultural abrangente.

O conteúdo de tipo formal se refere principalmente às leis e princípios da Ciência a ser aprendida, às suas simetrias e estruturas, à sua linguagem simbólica com suas propriedades formais. Se refere também às aplicações exemplares, aos problemas e exemplos significativos, que têm a dúplice função de mostrar para os estudantes o poder sintético da disciplina e de exercitá-los para que possam ter uma visão mais detalhada do seu significado.

Este conteúdo formal, que é o mais utilizado nos cursos atuais de Licenciatura e Bacharelado, constitui aquilo que denominaos de "pacote" de leis e exemplos significativos. Algumas correções devem ser introduzidas nesta prática: de um lado, ela não poderá mais monopolizar o conteúdo de toda a Ciência a ser ensinada e, de outro lado, o aspecto formal de estrutura e de ligação dos elementos teóricos deverá ser mais focalizado, introdu

zindo uma análise gnoseológica dos métodos mais utilizados na de rivação de seus resultados.

Acreditamos que o aspecto de novidade destas correções, junto com o aprofundamento sistemático mediante exemplos bem significativos, constituirão um estímulo para superar as ine gáveis dificuldades devidas à abstração da linguagem. A imagem de Ciência que começara a ser construída pelos estudantes não se rá unicamente de uma disciplina abstrata e formalizada, mas também de uma disciplina criativa capaz de explorar ao máximo as po tencialidades e as tendências do pensamento comum.

O conteúdo de tipo empírico se refere aos conhecimen tos que têm na experiência seu suporte mais significativo: grosseiramente, poderemos distinguir este conteúdo em experimental e aplicativo.

O conteúdo de tipo experimental se refere aos experi mentos cuja função é encontrar correlações ou produzir efeitos que possam ser comparados com as previsões teóricas. O domínio, por parte do futuro docente, deste tipo de conteúdo, tem um dú plice significado: integrar e qualificar seu conhecimento teórico e to mar contato com a experimentação científica, seus padrões de pre cisão e seus esforços de sofisticação tecnológica. A introdução de projetos experimentais propostos e executados pelos estudantes com o auxílio do professor será uma ocasião importante não somente para incentivar sua criatividade, mas também para intro duzir um tipo de conteúdo sobre o qual o estudante poderá ter um domínio exemplar.

O conteúdo que denominamos de aplicativo se refere a interpretações, mediante leis e teorias científicas de fenômenos naturais e dos produtos da tecnologia. A familiaridade com este

tipo de conteúdo não é alcançada de maneira simples, pois ela envolve sempre um processo de simplificação e um domínio pelo menos qualitativo do conteúdo e das leis formais; entretanto, ele é indispensável, como já tivemos ocasião de salientar, para que o conhecimento científico adquira uma conotação prática e uma significação vital para os estudantes que se envolvem na aprendizagem de Ciência. Além disso, este tipo de conteúdo é básico para permitir a efetuação da mudança conceitual dos estudantes que encontram nos fenômenos familiares e nos produtos tecnológicos os exemplos mais eficientes de demonstração do alcance da Ciência.

Também é o tipo de conteúdo que é mais fácil de ser proposto pelos estudantes e analisado com uma colaboração entre eles e com o professor. Mais do que isso, é neste tipo de conteúdo que poderão ser experimentadas análises interdisciplinares envolvendo a colaboração de estudantes e professores de diferentes disciplinas. Acreditamos que experiências deste tipo, além de carregar um grande potencial de motivação, poderão abrir aos estudantes perspectivas inovadoras no campo da docência. Um efeito a médio prazo da introdução sistemática de conteúdos com referência aos fenômenos cotidianos e aos aspectos tecnológicos da Ciência, sobretudo se acompanhados de experiências interdisciplinares, será uma mudança de enfoque no ensino de 2º grau, perspectiva bastante animadora para recuperar o interesse dos estudantes para a Ciência.

Finalmente, o conteúdo de tipo **heurístico** consiste de conhecimentos científico-culturais que têm na História e Filosofia da Ciência sua fonte mais abundante. Eles se referem à genese das idéias e das teorias científicas, seu confronto e sua evolução, seus sucessos e fracassos empíricos. Se referem também

aos pressupostos metafísicos das teorias, seus princípios e suas relações heurísticas com as hipóteses científicas. Abrangem, finalmente, as imagens e as intuições básicas que acompanham as teorias, com seu poder de síntese e de antecipação de possíveis resultados das experiências mentais.

Este conteúdo tem a função de apresentar ao estudante os temas mais importantes da pesquisa epistemológica atual: o confronto entre "paradigmas" diferentes, as razões do sucesso de um paradigma, as relações entre pesquisas científicas e reflexão filosófica, as relações entre pressupostos metafísicos e modelos heurísticos, entre linhas de pesquisa e resultados formais, entre teorias e experimentos.

Todas essas idéias e a reconstrução dos debates que acompanharam o desenvolvimento das teorias científicas, constituem certamente um patrimônio científico, histórico e cultural que deve ser preservado através do florescimento das pesquisas e de sua utilização no Ensino, inclusive nos níveis iniciais. Desta maneira, este conteúdo, constitui uma fonte inesgotável de **humanização** e de **enriquecimento** da aprendizagem científica, não restrita aos futuros docentes.

A **humanização** da aprendizagem se realiza mediante a mudança de enfoque do ensino, que recupera as maneiras mais intuitivas de pensar e estimula o estudante "a pensar" os fenômenos naturais não somente com as imagens construídas com o pensamento "espontâneo", mas também com as sugestões que a história da Ciência fornece com abundância.

O **enriquecimento** da aprendizagem inclui não somente a complementação e a fidedignidade na representação da Ciência, mas também um estímulo para o repensamento da Ciência atual com

base em idéias e sugestões do passado.

Insistimos com ênfase no desenvolvimento deste tipo de conteúdo no ensino de Ciência porque o consideramos muito defasado em relação aos outros tipos de conhecimentos; nossa acen-tuação se baseia também na percepção que a sua introdução siste-mática irá criar condições muito melhores de aceitação da pers-pectiva da mudança conceitual e da colaboração entre professores e alunos, por se referir a um campo de conhecimento interdiscipli-nar.

## 2.2. Conteúdos Educacionais

Como os conhecimentos referentes ao conteúdo cientí-fico da disciplina a ser ensinada são fundamentais para poder de-senvolver a função de docente, assim os conhecimentos referentes à docência são indispensáveis para exercê-la com competência pro-fissional.

Eles são de três tipos: psicológico, metodológico e sociológico.

O primeiro se refere principalmente à aprendizagem e a seu desenvolvimento, o segundo diz respeito à arte de ensinar e o terceiro, às relações institucionais.

A aprendizagem deverá ser analisada sob dois enfo-ques: um teórico, como construção e desenvolvimento de operações mentais e de noções progressivamente estruturadas, condicionadas pelos conhecimentos anteriores e pelo equilíbrio emocional alcan-çado; o segundo prático, com um levantamento e uma análise espe-cífica das concepções "espontâneas".

O enfoque teórico deverá abranger aspectos gerais en

volvendo a análise das teorias importantes sobre a aprendizagem e seu desenvolvimento e dos tipos de aprendizagens específicas mais importantes para as disciplinas científicas, particularmente a resolução de problema e a aprendizagem pela leitura. É importante que sejam apresentados os resultados das pesquisas das várias linhas psicológicas junto com suas hipóteses básicas, de maneira que o estudante possa realizar uma síntese pessoal, dando maior ou menor peso ao papel de cada uma delas.

Todos estes conhecimentos teóricos têm um papel importante por vários motivos:

- 1) Auxiliam a compreensão e a conscientização do próprio processo de aprendizagem do futuro docente, salientando suas limitações e suas especificidades.
- 2) Auxiliam o docente a compreender a aprendizagem de seus futuros alunos, com suas possibilidades reais, suas potencialidades, suas dificuldades, suas etapas e seus tempos de amadurecimento.
- 3) Fornecem subsídios na interpretação e na avaliação dos vários recursos metodológicos e tecnológicos, seja no sentido de seus alcances e suas eficácias, seja no sentido de suas adaptações e relevâncias nas diferentes circunstâncias.

O enfoque prático referente às concepções "espontâneas", sobre as quais já fizemos abundantes considerações nos capítulos quarto e quinto, proporcionará aos futuros docentes uma possibilidade de confrontar suas próprias concepções com as elaboradas nas pesquisas nesta área, assim como ter instrumentos para levantar e interpretar as respostas de seus alunos.

É neste tipo de conteúdo que haverá grandes opções

de colaboração entre professores e estudantes, seja no planejamento de novos testes em áreas pouco conhecidas, seja na análise das correspondentes respostas. De qualquer forma, com o conhecimento sobre as concepções espontâneas, os futuros docentes terão subsídios não somente para organizar e dirigir discussões entre seus estudantes, com a finalidade de provocar esclarecimentos, mas também para planejar progressivamente situações propícias para o surgimento de conflitos cognitivos em seus estudantes.

Finalmente, o contato dos futuros docentes com os resultados das pesquisas sobre a aprendizagem e sobre concepções espontâneas constituirá uma introdução à pesquisa educacional com possibilidade de continuidade na pós-graduação.

O Ensino também deverá ser analisado sob dois enfoques: o teórico, referente às metodologias e aos critérios gerais de atuação dentro e fora da sala de aula, e o prático, referente à construção de uma maneira de atuar pessoal, elaborada a partir de situações de treinamento e de estágio e da conscientização de detalhes importantes de sua própria atuação.

Os conhecimentos teóricos se referem aos princípios da aplicação tecnológica dos resultados científicos de várias áreas de pesquisa (aprendizagem, comunicação, análise de sistemas), a métodos, técnicas, recursos e produtos educacionais.

Além de serem úteis para uma correta utilização destes últimos, os conhecimentos referentes aos princípios da Tecnologia do Ensino são importantes para a produção e elaboração de novos métodos e subsídios e para a realização de pesquisas correspondentes.

Os conhecimentos teóricos mais imediatamente referentes à prática docente são constituídos pelos vários métodos de en

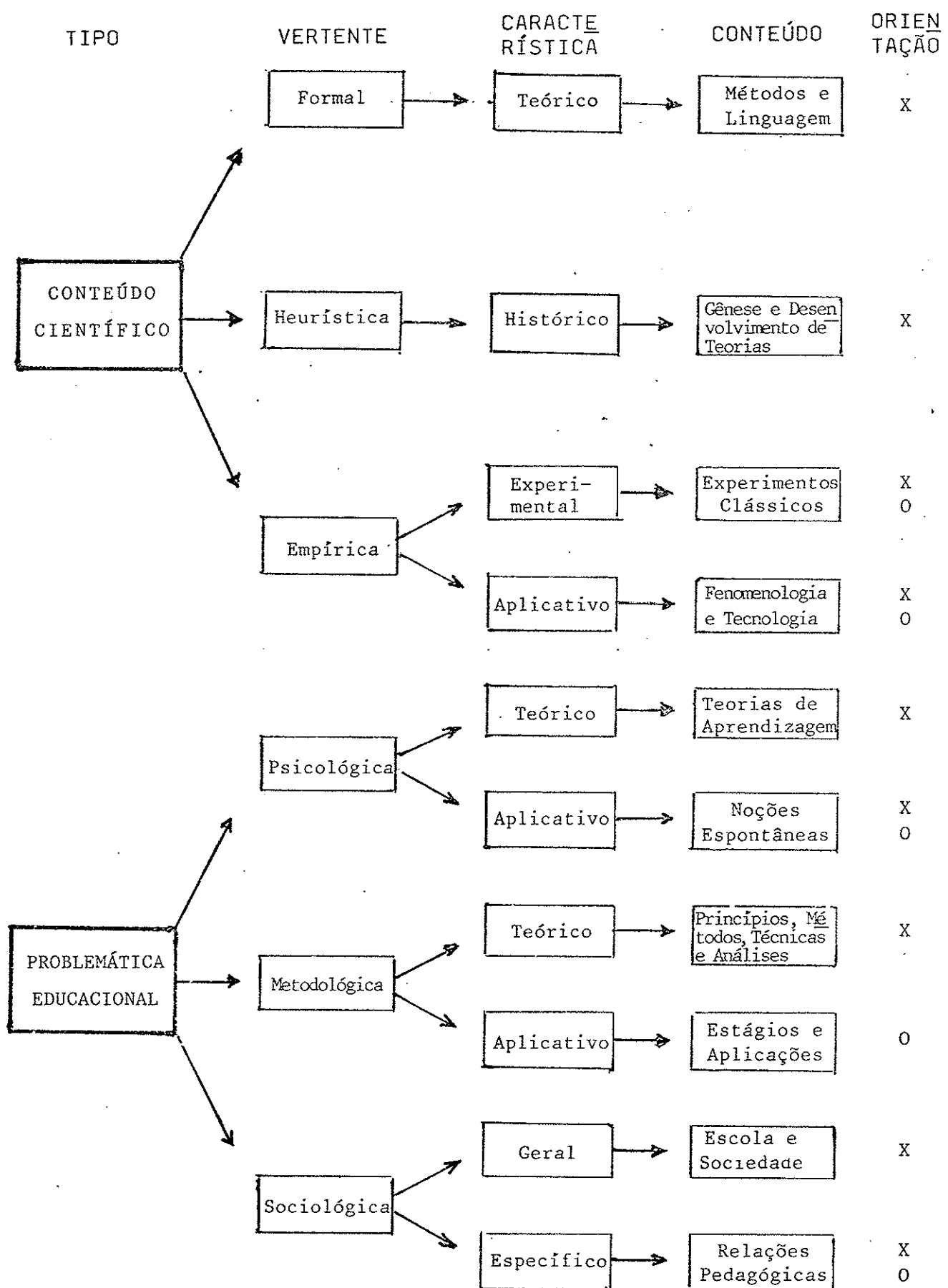


sino, envolvendo o planejamento e a avaliação do mesmo, pelas técnicas referentes à produção de material "matemagênico" (gerador de aprendizagem), pela explicitação dos recursos tecnológicos disponíveis (com especial destaque para o computador e suas possibilidades de exploração) e pelas análises dos projetos de alcance, produzidos no Brasil e no exterior.

Os conhecimentos práticos se referem principalmente às aplicações dos conhecimentos teóricos em estágios ou treinamentos específicos e vão desde o levantamento da situação prévia à aprendizagem, até a programação, execução e avaliação de pequenos projetos de ensino. Sendo sua finalidade principal a construção de uma maneira pessoal de atuar, o papel do professor deverá ser prevalentemente o de auxiliar os futuros docentes a elaborarem projetos os mais adequados às suas capacidades e às suas convicções. Certamente, é neste tipo de conteúdo que a disponibilidade e a colaboração do professor deverá ser mais abrangente, pois o que está em jogo não é o conhecimento de um objeto abstrato, mas a adaptação e o crescimento das práticas pessoais. Neste sentido, terão valor puramente indicativo, mas importante, as análises de experiências exemplares com destaques especiais para utilização do laboratório didático e de demonstrações, sobretudo como instrumentos para auxiliar a mudança conceitual.

As relações Institucionais a serem analisadas são de dois tipos: um mais geral, referente aos problemas nacionais e as relações estruturais e o outro mais específico, referente às relações pedagógicas e às relações institucionais internas.

O conteúdo mais geral se refere à problemática brasileira da educação, desde a política do governo e as expectativas das várias classes sociais, até a análise da função da escola e



X - Diretriz Institucionalizada

O - Diretriz Personalizada

TABELA I

do ensino de Ciência na Sociedade. O aspecto mais significativo deste conteúdo é seu enfoque sociológico, e seu destaque para os elementos políticos e ideológicos da Educação Brasileira.

O conteúdo específico, referente às relações pedagógicas, é uma ocasião para o levantamento e a análise da prática escolar concreta, realizada por professores e futuros docentes em sua formação, com um destaque especial para a avaliação dos graus de dependência e de colaboração efetivamente construídos ao longo do currículo. A análise de projetos exemplares, sobretudo de orientação freiriana, completará este conteúdo, cuja função é abrir a reflexão dos estudantes a aspectos geralmente esquecidos da educação científica.

O quadro sintético que resume os principais elementos da nossa proposta está na Tabela I.

### 3. AS ATIVIDADES DIDÁTICAS

A elaboração de um esboço de currículo de Licenciatura em Ciência deve prever, além de sua caracterização estrutural e da elaboração de conteúdos significativos a serem aprendidos, também a estruturação de um conjunto de atividades a serem exercidas pelos futuros docentes para que seja garantida qualidade, profundidade e solidez à sua formação.

Analogamente aos conteúdos, também as atividades podem ser analisadas sob duas dimensões.

A primeira dimensão se refere à finalidade das atividades; elas podem servir principalmente como "geradoras de aprendizagem de conteúdo", quando visam a articulação de informações

e de esquemas conceituais que formam a maneira de pensar do futuro docente; elas podem servir também como "modeladoras de comportamento" quando visam o treinamento e a construção de futuras atividades docentes.

A segunda dimensão se refere a seu aspecto institucional; as atividades podem ser sugeridas (ou impostas) pela Instituição, constituindo a realização da "iniciação" ao saber institucionalizado; podem também ser escolhidas por iniciativa dos estudantes, num trabalho de colaboração com o docente.

Nossa análise será desenvolvida a partir da primeira dimensão; reservaremos para a segunda, nossos comentários esporádicos.

### 3.1. Atividades de Aprendizagem

As atividades didáticas de aprendizagem que visam a reformulação das idéias dos estudantes sobre a Ciência e sobre o Ensino são constituídas essencialmente de resolução de problemas padronizados, elaboração de projetos, execução de experimentos, exercício de análise de conteúdo, leituras de textos didáticos e artigos de revistas, elaboração de sínteses conceituais e de relatórios, participação nas discussões.

É interessante especificar cada uma dessas atividades.

**Leituras de textos didáticos e artigos de revista:** sua função é fornecer aos estudantes informações novas, junto com o contexto teórico ou experimental no qual tais informações adquirem significado. As demonstrações e os encadeamentos dos livros-textos e a explicitação das linhas teóricas e metodológicas dos artigos têm esta função de explicitar o contexto das novas

informações; certamente, a ajuda de um guia de leitura crítica, elaborado pelo docente, poderia facilitar a compreensão dos artigos das revistas, geralmente muito sintéticos.

**Resolução de problemas e de exercícios padronizados:** sua função é concretizar e explicitar os conteúdos teóricos aprendidos e as leis científicas estudadas. Sua utilidade é tanto maior, quanto menos rotineira for sua realização; para tanto, são importantes as resoluções-modelos, elaboradas pelo professor em sala de aula ou distribuídas aos estudantes para serem analisadas, e as aplicações individuais, que forçam o estudante a procurar nexos e relações em seus conhecimentos.

**Elaboração de sínteses conceituais:** consiste em encontrar as idéias básicas de uma teoria ou de um trabalho científico importante e articulá-las de maneira que apareçam destaques e nexos.

Este tipo de atividade é pouco utilizada na formação atual, por isso ela deve ser encarada com esforço por parte de estudantes e professores, pois sua realização não será imediata, podendo ser facilitada com o auxílio de roteiros ou de perguntas simplificadoras. A função desta atividade é integrar os conhecimentos dos estudantes numa visão hierárquica que poderá ser explorada em situações sucessivas e de maneira analógica.

**Exercícios de análise de conteúdo:** consistem em encontrar categorias significativas num material escrito, que representem sua estrutura implícita. Se o material analisado for um trabalho histórico original, este exercício torna-se fonte de renovação intelectual pela simplicidade e profundidade das categorias encontradas.

**Proposta e participação em discussões:** sua finalida-

de é o questionamento das idéias já elaboradas pelos estudantes e o confronto com as dos colegas. Sua utilidade depende essencialmente de encontrar problemas, dúvidas ou conflitos reais nos estudantes.

**Planejamento e execução de projetos experimentais:** sua finalidade é tornar concreto o caráter empírico da Ciência estudada. Duas características são fundamentais: a medida de grandezas novas (ou em situações novas) e o aumento de precisão das medidas. No caso da reprodução de experimentos históricos importantes, o segundo aspecto deve ser garantido com aparelhagens adequadas, ao passo que o primeiro aspecto deve ser focalizado em seminários e discussões concomitantes. Novamente, vale repetir o afirmado em relação à resolução de problema: o aspecto rotineiro da atividade deve ser eliminado quando possível, pois a função da atividade não é de treinamento, mas de realização cultural.

### 3.2. Atividades de Treinamento

As atividades de treinamento e de aperfeiçoamento da docência deverão abranger os vários aspectos da mesma, já delimitados no capítulo anterior: apresentação de conteúdo, elaboração de exercícios e aplicações, interação dialógica com o estudante, criação de situações de conflito cognitivo, fomento de atividades de avaliação.

Vejamos mais detalhadamente estas atividades.

**Apresentação do conteúdo:** sua finalidade é permitir que o estudante seja exposto e tenha contato com o novo conteúdo a ser aprendido. A apresentação pode ser feita de várias maneiras: oral, escrita ou experimental. O treinamento para exposi-

ção oral deverá ser feito essencialmente em seminários, nos quais se deverá prestar atenção à escolha do conteúdo e à clareza e didaticidade da exposição. O treinamento para exposição escrita poderá ser feito em trabalhos de fim de curso, nos quais as idéias aprendidas deverão ser reelaboradas e adaptadas para leitores não-iniciados. Será importante a referência ao concreto e ao familiar para que o leitor possa dar um significado mais vivo à sua leitura. O treinamento para exposição experimental consiste na programação e execução de demonstrações experimentais e na construção de material didático de baixo custo; cuidado especial deverá ser tomado com a seqüência e a organização das apresentações experimentais, para que os detalhes sejam incorporados à finalidade das mesmas e não constituam elementos distratores.

**Elaboração de exercícios e aplicações didáticas:** sua finalidade é provocar a familiarização dos estudantes com as teorias e os princípios e, principalmente, suas implicações. A elaboração e o planejamento de exercícios deverá obedecer aos critérios "matemagênicos", ou seja, cooperar com a aprendizagem teórica, introduzindo a análise de casos significativos e evitando a rotina.

O treinamento desta atividade se dará nas disciplinas educacionais que envolvam explicitamente a prática docente e seu planejamento e visará o questionamento desta do ponto de vista de sua coerência, seu conteúdo e seus efeitos previsíveis.

**Proposta e elaboração de interações de tipo dialógico:** as interações dialógicas entre professor e estudantes visam construir um referencial comum de atividades. Consistem no levantamento, por parte do docente, das idéias de seus alunos, de suas preferências metodológicas, de suas capacidades de aprendizagem

e de suas dúvidas, consistem também na exploração, por parte do professor, das iniciativas e dos desafios de seus estudantes.

O treinamento destas atividades e habilidades e seu aperfeiçoamento pelo futuro professor se dará principalmente em estágios e consistirá no levantamento que o mesmo realizará sobre a situação de seus aprendizes, através de entrevistas e questionários, em sua análise, à procura dos elementos mais significativos e na avaliação coletiva, junto com seus colegas e docentes, de casos concretos e interessantes de interação dialógica.

**Planejamento de conflitos cognitivos:** consiste na articulação de situações de aprendizagem nas quais as previsões dos estudantes não correspondem a fatos empíricos ou à exigências teóricas mais gerais; supõe o levantamento prévio das idéias "espontâneas" mais enraizadas dos aprendizes e a escolha de objetivos globais de aprendizagem (mudanças conceituais). O treinamento destas atividades de planejamento por parte dos futuros docentes deverá consistir no exercício de dois tipos de escolhas articuladas: a de conteúdos apropriados, capazes de despertar conflitos nos aprendizes, e a de métodos apropriados de interação, capazes de respeitar o dinamismo intelectual dos aprendizes. Sua execução se realizará em estágios apropriados, seguidos da discussão e avaliação dos procedimentos utilizados.

**Fomento de atividades de avaliação:** consiste na proposta e na exploração de situações nas quais os aprendizes deverão explicitar e confrontar seus conhecimentos. Para tanto, será importante que os futuros docentes experimentem e dominem técnicas de dinâmica de grupo, de discussão, de distribuição de tarefas e de organização da sala de aula.



Na exposição que acabamos de completar, sobre as atividades didáticas que devem caracterizar um currículo de Licenciatura em Ciências, facilmente poderá ter-se percebido que a distinção entre o aspecto "institucional" e o aspecto "pessoal" das mesmas é difícil de ser analisado a priori, independentemente de seu contexto concreto. Em geral, atividades de "colaboração" estarão associadas prevalentemente a conteúdos escolhidos pelos próprios futuros docentes e atividades de "iniciação" estarão associadas a conteúdos "institucionalizados", entretanto, poderão existir também situações mistas, quando conteúdos "institucionalizados" são tratados com atividades de colaboração e com iniciativas pessoais dos estudantes e vice-versa.

O que é interessante, na elaboração do currículo, é prever um balanceamento a "grosso modo" entre os dois tipos de atividades, deixando espaços adequados para que elas possam ser concretamente desenvolvidas.

Neste capítulo, procuramos explorar mais concretamente o conjunto de análises desenvolvidas nos capítulos anteriores para delinear as características de um currículo de Licenciatura em Ciência adequado às necessidades dos estudantes de uma grande universidade brasileira, que deverão assumir um papel relevante no ensino de Ciência de primeiro e segundo grau e na pesquisa em educação Científica. Fizemos isso não somente discutindo a estrutura de um tal currículo e as relações globais entre a aprendizagem de conteúdos científicos e educacionais, mas também detalhando tais conteúdos e as correspondentes atividades didáticas aos nível de um esboço orientador.

O próximo passo será a explicitação de tal currículo em disciplinas concretas incluindo conteúdos específicos e ativi

dades correspondentes. Entretanto, este passo deverá ser executado pelas próprias comunidades interessadas em elaborar seu currículo e após uma mediação e negociação cuidadosa que procure respeitar os interesses e as preferências da grande maioria dos envolvidos (alunos e docentes).

## CONCLUSÃO

Na introdução deste trabalho, afirmamos que queríamos resgatar a formação do professor de Ciência e, em particular, de Física, do abandono institucional ao qual foi relegado; queríamos enfrentar as tendências que, sobretudo a partir do final da década de 60 mediante a instauração das licenciaturas de curta duração, consideravam a função do docente praticamente equivalente à de um monitor. Acreditamos ter cumprido nossa tarefa de duas formas, de certa maneira inter-relacionadas:

- 1) encontrando uma área de pesquisa específica capaz de orientar os esforços de aprimoramento da formação do professor de Ciência;
  - 2) transformando o currículo de multidisciplinar para interdisciplinar.
- 1) A formação do professor de Ciência e a elaboração do currículo da correspondente Licenciatura certamente tem constituído a Cinderela entre as formações profissionais universitárias. Tudo tem sido pensado e resolvido por pessoas que não têm produzido pesquisas profissionais na área de Educação Científica e que, de fato, não têm sido afetadas diretamente pela qualidade dos resultados da formação. Isso não somente tem eliminadado os mecanismos auto-reguladores que poderiam afetar o planejamento, mas também tem desestimulado as medidas e as tentativas objetivas de melhoria do currículo, assim como os expe-

rimentos inovadores.

Se a tudo isso juntarmos a peculiaridade das Licenciaturas nas Ciências Exatas de ter que integrar as exigências objetivas de disciplinas altamente estruturadas e formalizadas com as características individuais e sociais da Educação e do Ensino, o quadro parecerá mais sombrio. De fato, o currículo de Licenciatura nas Ciências Exatas tem sido alvo de disputas prolongadas entre os cientistas, ciosos do seu conhecimento específico, e os educadores, preocupados com os aspectos gerais e individuais da Educação. Apesar dessa disputa não ter tido ainda um vencedor consagrado, ela teve certamente um perdedor, o estudante; ele não somente não tem condições para resolver o conflito entre os dois grupos institucionais, mas também não possui os instrumentos de análise para equacioná-lo e entender suas razões mais profundas.

Nossa análise e nossa proposta redimensiona esta disputa, pois define claramente seus contornos. Ao conceber a formação do professor como uma transformação de uma concepção espontânea sobre Ensino de Ciência para uma concepção científica sobre o mesmo, fomos obrigados a focalizar os instrumentos culturais e cognitivos necessários para operar esta transformação.

Tendo definido como elementos fundamentais desta concepção as idéias sobre Ciência e seu desenvolvimento, sobre Aprendizagem, sobre a Arte de Ensinar e sobre a Educação como fenômeno social, já delimitamos os conhecimentos fundamentais necessários ao futuro professor e as disciplinas básicas capazes de fornecer como seu objetivo uma transformação de mentalidade; esta meta implicitamente define também os tipos de a-

tividades didáticas necessárias para estimular e favorecer tal transformação.

Além disso, ao considerarmos a formação do professor como um problema a ser analisado com o auxílio dos resultados das pesquisas mais modernas nas áreas de História e Filosofia da Ciência e principalmente de Educação Científica, implicitamente a deslocamos aos cuidados dos pesquisadores destas áreas que se tornaram seus orientadores naturais. Assim, de conflito de competências entre cientistas e educadores desejosos de deixar sua marca na formação do professor, a elaboração de um currículo adequado de Licenciatura em Ciência tem-se tornado problema de pesquisa com a finalidade de encontrar as melhores condições de contorno para a realização de uma determinada mudança conceitual dos estudantes.

Ainda mais que a própria definição dos estados iniciais e finais dessa mudança, não é um dado empírico imediato, mas o produto da elaboração de sínteses de pesquisas, principalmente as referentes às concepções espontâneas dos estudantes.

Com este deslocamento da formação do professor aos cuidados diretos dos pesquisadores da área de Ensino de Ciência, acreditamos não somente ter resolvido o problema imediato de definir as competências e as contribuições de cientistas e educadores na elaboração das linhas gerais do currículo, mas também de ter garantido sua modernização e reformulação contínua. A formação do professor se tornou, em nossa perspectiva, também uma iniciação à pesquisa na área de Educação Científica, tendo na Pós-Graduação sua continuidade natural e seu lugar imediato de avaliação.

2) Uma segunda conseqüência de nossa análise e de nossa proposta é que a formação do professor de Ciência passou de uma perspectiva multidisciplinar para uma perspectiva interdisciplinar.

a) Na perspectiva multidisciplinar, as disciplinas vêm antes do conjunto: elas dão sua contribuição específica de conteúdo e de método e a soma constitui o resultado; este, portanto, é um mosaico e a tarefa de integração é iniciativa pessoal do estudante, dependente de sua sensibilidade e de seus gostos.

Por exemplo, no caso da formação do professor de Física, o currículo é pensado como a soma das disciplinas de Física e das disciplinas de Educação, com uma pequena interface realizada mediante disciplinas de caráter intermediário. Assim, o estudante passa por dois mundos diferentes, o da Física e o da Educação, com maneiras diferentes de encarar a profissão. Os físicos olhando para o conteúdo, para seu rigor e logicidade, para sua estrutura e amplitude, para sua linguagem altamente formalizada e para os experimentos; os pedagogos olhando para o método de ensino, a motivação do aluno, a utilização dos recursos didáticos, o respeito para as etapas de desenvolvimento intelectual.

Integrar as duas preocupações não é tarefa simples, mesmo com os auxílios das disciplinas intermediárias: de fato, os alunos optam por dar um peso maior a esta ou àquela ênfase.

Na perspectiva multidisciplinar, a formação do professor de Ciência pode ser considerada como a de um meio bacharel e meio pedagogo, com uma apêndice específica com função

de síntese. Na realidade, alguns estudantes preferem dar mais peso à sua formação de bacharel, e consideram a parte pedagógica como enfeite em boa parte desprezível; outros estudantes acham os cursos de Ciência bastante abstratos e enfadonhos, e lamentam a ausência de uma formação mais voltada para a profissão e para a prática de sala de aula. Contudo, a impressão que sobra é que a própria potência das disciplinas não é adequadamente explorada por falta de uma organização integradora.

- b) Na perspectiva **interdisciplinar**, o conjunto vem antes das disciplinas no sentido de que as contribuições disciplinares são pensadas e procuradas por suas inter-relações.

A proposta que acabamos de elaborar nasceu de uma análise desde o começo interdisciplinar. Quando nos perguntamos o que é Ciência e qual o seu desenvolvimento, fomos procurar respostas não somente nas próprias disciplinas, mas também e sobretudo nos resultados das pesquisas históricas, epistemológicas e filosóficas que, por sua vez, já incorporavam os dados das disciplinas científicas. Quando nos perguntamos como se dá a aprendizagem dos estudantes, procuramos as respostas não somente nos trabalhos de psicologia, mas sobretudo nas pesquisas sobre Educação Científica e sobre Concepções Espontâneas, que de fato utilizam dados e resultados da Psicologia. Quando quisemos saber qual o efeito da formação e do trabalho científico em Física sobre concepções espontâneas dos estudantes, nós mesmos organizamos e realizamos uma pesquisa interdisciplinar com estudantes de pós-graduação. Quando procuramos detectar os rumos e as perspectivas dos subsídios didáticos, elaboramos um conjunto de categorias de análise que sin-

tetizavam contribuições de várias disciplinas. Quando analisamos as relações Institucionais, procuramos uma síntese entre as contribuições sociológicas e as influências das disciplinas científicas.

O resultado de tal análise foi a estruturação de uma nova visão de ensino de Ciência interdisciplinar, com contribuições interligadas das disciplinas científicas e das Ciências Humanas.

Evidentemente, se a análise foi interdisciplinar e a síntese também, as conclusões práticas não podiam ser diferentes. Coerentemente com a análise e a síntese, o próprio subsídio curricular por nós proposto foi interdisciplinar: a formação do professor foi pensada como uma transformação de mentalidade, e os conhecimentos característicos da nova mentalidade foram buscados nos resultados científicos de várias disciplinas, que portanto foram organizadas em função do conjunto.

Ao propormos uma imagem fidedigna das Ciências Exatas, introduzimos uma vertente heurística cujas disciplinas têm a função de apresentar as idéias geradoras das pesquisas e das sínteses teóricas: outrossim, não propomos simplesmente um conteúdo geral de História da Ciência ou de Filosofia da Ciência, mas sugerimos a análise histórico-filosófica de determinadas conquistas científicas.

O mesmo discurso vale tanto para as contribuições sobre aprendizagem oriundas das pesquisas sobre concepções espontâneas e resolução de problemas, quanto para as contribuições metodológicas da utilização do computador ou da Tecnologia da Educação, que já constituem uma síntese entre princí-



pios gerais e aplicações concretas ao Ensino de Ciência.

Entretanto, nossa proposta interdisciplinar não acaba com as disciplinas. A formação é pensada de maneira globalmente interdisciplinar numa estrutura na qual existe espaço para as disciplinas fornecerem não somente seus resultados práticos, mas também seu rigor metodológico e seu enfoque característico. Quando o estudante passar pelas disciplinas da vertente formal ou da vertente empírica, sobretudo na fase inicial de sua formação, ele não somente experimenterá todo o rigor da formalização e a sofisticação dos experimentos científicos, mas será capaz de assimilar estas características, pois é exatamente isso que ele espera dessas disciplinas. Analogamente, quando o estudante passar pelas disciplinas da vertente psicológica, deverá aprender as teorias de aprendizagem com todas as características metodológicas que as geraram, pois a construção da imagem de aprendizagem exige isso.

Será que tudo isso não torna a formação do futuro bacharel pouco dinâmica e ainda "acadêmica"? Não seria melhor estruturá-la de maneira integralmente interdisciplinar, ou seja, com conteúdos unicamente práticos e capazes de auxiliar mais concretamente na tarefa de ensinar?

Nossa proposta rejeita esta visão, por duas razões. A primeira razão é teórica: em nossa opinião, o conhecimento a ser construído pelos estudantes é precário, seja pelas limitações pessoais dos estudantes, seja pela natureza provisória dos modelos científicos. O conhecimento das maneiras de produzir os resultados das várias disciplinas, apesar de tornar mais pesadas estas últimas, fornece uma visão de seus pressupostos e de suas limitações; conseqüentemente, prepara para

uma futura modificação.

A segunda razão é prática. A formação do professor de Ciência pretende preparar para o exercício da profissão nos vários graus e introduzir à pesquisa em Educação Científica. A possibilidade de escolher os vários endereços profissionais exige uma visão mais geral do estudante, e exige que ele seja submetido a diferentes maneiras de analisar os problemas: e isso somente é fornecido pelas disciplinas específicas.

Resumindo, então, podemos afirmar que a interdisciplinaridade por nós proposta é mais a nível do projeto geral, da orientação e da estrutura, do que a nível das contribuições particulares (apesar de não faltarem contribuições específicas interdisciplinares); estas últimas mantêm em boa parte seu carácter disciplinar e constituem estímulos e garantia para ampliar a capacidade crítica dos estudantes e, a médio prazo, também sua capacidade de produção intelectual e de desempenho profissional.