

ANALISANDO O ENSINO DE FÍSICA: CONTRIBUIÇÕES DE PESQUISAS COM ENFOQUES DIFERENTES¹

A.VILLANI*, J.L.A.PACCA, R.I.KISHINAMI**, Y.HOSOUME

Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

INTRODUÇÃO

Já foram publicadas^(2a,b) várias considerações sobre a natureza, o significado, os problemas e as perspectivas da pesquisa em Ensino de Física. Nesta exposição pretendemos tornar as nossas reflexões mais concretamente inteligíveis, relatando de forma suficientemente extensa alguns dos trabalhos desenvolvidos por um pequeno grupo⁽³⁾ dentro do Grupo de Ensino do Departamento de Física Experimental do IFUSP, que se dedica as pesquisas em Ensino de Física.

Estas pesquisas consistem da reflexão, análise e experimentação sistemática sobre o conteúdo e/ou a prática do ensino de Física, com a finalidade de estudar, mediante a adaptação de modelos desenvolvidos nas ciências Humanas, as condições nas quais ele ocorre e de levantar possíveis respostas para problemas específicos com que ele se defronta.

Pretendemos mostrar que a pesquisa em Ensino de Física, além de fornecer resultados úteis para o aprimoramento do Ensino, pode ser inteligente, interessante e criativa. Pretendemos também mostrar que a maneira de se programar e articular pes

* Com auxílio parcial do CNPq.

** Com auxílio parcial da CAPES e do CNPq.

quisas com enfoques diferentes, obedece a critérios próprios, diferentes dos critérios utilizados nas pesquisas em disciplinas já estabelecidas (sobretudo as Ciências Exatas). Tentaremos mostrar concretamente como o caráter interdisciplinar da pesquisa em Ensino de Física exige o aprofundamento simultâneo ou sucessivo de diferentes aspectos, para que seus resultados sejam significativos em relação a compreensão do problema estudado e a possibilidade de intervenção na realidade. Isso sugere que uma programação das pesquisas nesta área será mais significativa se desenvolver projetos abrangentes, abrindo espaço para problemas que surjam com a sua inserção num contexto mais amplo, ao invés de se fixar num esquema que leve somente ao aprofundamento de um único aspecto, nos moldes de linha de pesquisa.

Relataremos três trabalhos diferentes apresentando os resultados até então conseguidos e mostraremos como estes resultados podem ser articulados caracterizando uma situação de complementaridade entre as pesquisas e até mesmo uma relação de consequência entre elas.

No ítem 1 será feita a exposição dos trabalhos que tentam levantar as idéias "espontâneas" dos alunos, no ítem 2 serão relatados os resultados de uma pesquisa sobre relações pedagógicas e efeitos sócio-políticos num curso de física básica e no ítem 3 serão descritos os primeiros resultados qualitativos de um trabalho de programação de cursos de Relatividade. Finalmente no ítem 4 será mostrado como é possível articular os resultados relatados nos ítems anteriores, e como isso favorece uma intervenção mais equilibrada e esclarecida na realidade do ensino de Física.

1. PESQUISA SOBRE CONCEITOS "ESPONTÂNEOS" DE FÍSICA ⁽⁴⁾

Trata-se, nessas pesquisas, de levantar e articular aquelas noções "espontâneas" pré-existentes e independentes do ensino formal que os alunos revelam, ao serem, de alguma forma, questionados e que, de fato, constituem uma estrutura conceitual paralela àquela ensinada - estrutura muitas vezes capaz de sobreviver ao ensino.

As respostas dos alunos a problemas, questões escritas, experimentos e entrevistas são analisadas com a perspectiva de encontrar as idéias físicas subjacentes; em seguida estas idéias são articuladas de forma a constituírem um conjunto coerente e compacto, formando um modelo de Física "espontânea".

Um grupo de pesquisadores franceses ⁽⁵⁾ tentou articular estes conceitos "espontâneos" na área de Dinâmica (conceitos de força, energia, etc.) e na área de Cinemática (conceitos de velocidade, espaço e tempo) obtendo um quadro interessante que pode ser resumido da seguinte forma:

Quanto à dinâmica ⁽⁶⁾:

O movimento é sempre associado a uma força (\vec{f}) que o acompanha, cuja intensidade é proporcional à velocidade (\vec{v});

Ausência de velocidade ($\vec{v}=0$) implica em ausência de força ($\vec{f}=0$);

Velocidade máxima e força máxima são correlacionadas;

Força e energia tem a mesma natureza.

Nosso grupo de pesquisa reproduziu parte do trabalho realizado pelos autores franceses, para verificar se o mode-

lo proposto também era capaz de explicar as respostas dadas pelos nossos estudantes e também para entender melhor a maneira pela qual eram relacionadas essas grandezas físicas.

Em geral, foram encontrados os mesmos resultados, confirmando os obtidos na Europa com estudantes franceses, ingleses e belgas e também nos Estados Unidos. Entretanto uma análise detalhada, realizada dentro do nosso grupo revelou que a relação entre força \vec{f} e velocidade \vec{v} aparece articulada com a aceleração \vec{a} , num quadro duplo:

$$(1) \quad \begin{array}{c} \text{forças} \\ \text{diferentes} \end{array} \quad + \quad \begin{array}{c} \text{velocidades} \\ \text{diferentes} \end{array} \quad + \quad \begin{array}{c} \text{acelerações} \\ \text{diferentes} \end{array}$$

havendo uma relação de tipo newtoniano entre \vec{f} e \vec{a} , mediada por duas relações de tipo "espontâneo" entre \vec{f} e \vec{v} e entre \vec{v} e \vec{a} .

$$(2) \quad \begin{array}{c} \text{velocidades} \\ \text{diferentes} \end{array} \quad + \quad \begin{array}{c} \text{acelerações} \\ \text{diferentes} \end{array} \quad + \quad \begin{array}{c} \text{forças} \\ \text{diferentes} \end{array}$$

havendo uma relação newtoniana entre \vec{a} e \vec{f} para a composição de uma relação "espontânea" entre \vec{v} e \vec{f} .

Estes resultados foram obtidos, na nossa pesquisa⁽⁷⁾, de forma preliminar. Não se conseguiu verificar ainda em que condições ocorre cada um desses caminhos, mas ficou claro que, em muitos casos, a relação espontânea entre \vec{f} e \vec{v} é certamente mediada por dificuldades com o conceito de aceleração.

Na área de Cinemática, o resultado mais importante⁽⁸⁾ obtido pelos pesquisadores franceses consta de um quadro no qual as grandezas cinemáticas relativas a um dado objeto (distâncias percorridas, "distâncias instantâneas", velocidades, tempo,

trajetória, etc.) parecem ter, dentro de um raciocínio "espontâneo", um valor fixo independente do observador estar em movimento ou em repouso em relação ao objeto. Isso foi caracterizado como "geometrização" do espaço newtoniano e foi relacionado a existência de movimento e velocidade "reais" ou "próprios" que se distinguem dos "aparentes" por terem causas motoras.

Tentando interpretar as respostas dos estudantes brasileiros de 29 e 39 graus referentes às mesmas grandezas cinemáticas, nas mudanças de referencial, ficamos surpresos⁽⁹⁾ com um resultado que chamou a nossa atenção:

O tempo de duração de um evento depende do observador.

Esse evento pode ser, por exemplo, a duração do salto de um peixe num rio, visto por dois observadores com movimento relativo.

Essa idéia parecia explicar as respostas encontradas e poderia levar a perguntar: será que os alunos brasileiros já pensam coerentemente com a Teoria da Relatividade desde os 16 anos?

A resposta é bastante complicada. Na realidade, para os alunos, a dependência entre tempo de duração de um movimento e observador, está mais ligada à percepção. Na visão "espontânea" de nossos alunos, a medida do intervalo de tempo é influenciada pelo caráter relativo que elementos subjetivos, como por exemplo, perspectiva geométrica e sensação de duração, introduzem.

Antes de apresentar o quadro final da conceituação do tempo é interessante esclarecer a maneira de proceder que nos levou a uma caracterização diferente para o modelo de cinemática que os estudantes estariam utilizando. Foi preciso desviar a atenção da relação entre as grandezas cinemáticas que apareciam

explicitamente nas respostas, e fixá-la em outro ponto para que, no conjunto de respostas, encontrássemos coerência e significado na justificação, através de um modelo de cinemática implícita. Por exemplo, relações de tipo: "O observador está em movimento, então a duração para ele é menor" ou "A distância percorrida é maior para o observador A, então o tempo para ele é maior" não resolviam o problema de encontrar explicações satisfatórias, pois às vezes apareciam de forma incoerente, como no caso de duas respostas de alunos:

"O tempo (de duração do salto do peixe) é maior para o nadador A, pois ele está em movimento."

"O tempo é menor para o nadador A, pois ele está em movimento"

Claramente a relação entre o tempo e o movimento do observador A não é explicativo, pois comparece para justificar relações opostas. Se quisermos produzir um modelo unificado e coerente devemos abandonar a classificação imediata das respostas e tentar encontrar os elementos que, na visão dos alunos, justificam estas respostas. No caso citado é preciso encontrar razões pelas quais, na visão dos alunos, o movimento do observador A pode significar duração maior ou menor do evento observado.

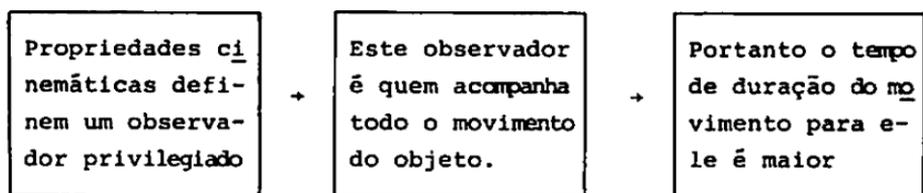
Trata-se de introduzir uma complementação significativa nas relações oferecidas pelos alunos ou uma maneira diferente de olhá-las. Dessa forma as respostas são interpretadas de maneira diferente e através das informações extraídas e recompostas chega-se a modelos que, mantendo a coerência implícita, explicam as respostas encontradas.

A situação pode ser esquematizada de forma geral com a relação entre a variável cinemática e o tempo mediada pela existência de um observador privilegiado para o qual o tempo é maior.



Neste sentido o "estar em movimento" do nadador A significa num caso identificar-se com o observador privilegiado e no outro não.

Vejamos mais em detalhe o esquema acima



Quais são então as propriedades cinemáticas que de finem um observador privilegiado? Podemos localizar três delas:

- a) estar fixo na Terra;
- b) estar numa posição favorável em relação ao objeto;
- c) se movimentar na mesma direção do objeto observado.

Desta forma o observador privilegiado será capaz de:

- a) observar a trajetória total;
- b) observar a trajetória com uma perspectiva melhor;
- c) acompanhar o movimento do objeto lado a lado.

A existência de critérios diferentes para definir qual observador acompanha todo o movimento do objeto, explica a possibilidade de obter respostas aparentemente contraditórias.

Segundo este modelo existiria uma tendência implícita, no aluno que lida com mudança de referencial, para escolher um lugar ou um sistema privilegiado de observação e caracterizar este sistema como aquele que consegue perceber todo o movimento e a duração maior.

Existe uma hipótese de que, por trás disso, o processo seja bem mais unificado e tenha como quadro principal uma física com espaço absoluto, tempo próprio, velocidade própria, distância e trajetória "verdadeiros": o observador privilegiado seria aquele que mais se aproxima ou se identifica com os valores "verdadeiros", sendo reservadas para os outros observadores, não privilegiados, somente medidas "aparentes".

No exterior e, em parte, também no Brasil existem muitos outros trabalhos de pesquisa dedicados ao levantamento e a estruturação de conceitos "espontâneos" no campo de Ótica, Eletricidade, Termodinâmica, etc. a partir das quais é possível começar a ter uma idéia mais geral e conseqüentemente tirar conclusões em termos de ensino.

Neste sentido não é produtivo ignorar a bagagem cultural do aluno e todo o conjunto de noções "espontâneas" que ele carrega ao se deparar com o ensino formal na escola. Se não se cuidar adequadamente da "física espontânea" dos alunos sobrarão duas estruturas superpostas, entre as quais os alunos escolherão uma dependendo do contexto; em geral, quando o problema envolver muitos elementos formais usarão a aprendizagem formal; quando o problema envolver elementos do dia-a-dia e com características bem figurativas ou capazes de estimular a percepção, usarão o esque-

ma espontâneo.

Como então tratar a "física espontânea"?

Para um tratamento adequado do problema, que, na nossa visão, envolve uma mudança de postura geral frente aos erros e a dificuldades dos alunos, é preciso ter em mente essas considerações.

Em primeiro lugar as idéias "espontâneas" em geral tem capacidade explicativa limitada, e por isso elas podem ser questionadas diretamente e facilmente, levando até as últimas consequências suas previsões em física. Retomando o exemplo da relação força-velocidade, não é difícil mostrar como a relação força máxima-velocidade máxima é insustentável quando se elimina progressivamente a resistência do ar ou de meios dissipativos.

Em segundo lugar as idéias "espontâneas" estão em conflito com as idéias das teorias físicas; no entanto o conflito é sempre parcial ou temporário pois as próprias teorias se modificam; assim a idéia da relatividade do tempo é conflitante com o esquema newtoniano, mas não o é em relação a Teoria da Relatividade. É evidente que a fundamentação da Relatividade do tempo oferecida pelos alunos é insustentável cientificamente, no entanto a idéia é um ótimo ponto de partida para um aprofundamento do significado e das limitações da própria mecânica newtoniana.

Em terceiro lugar as idéias "espontâneas" muitas vezes são bem semelhantes as encontradas na História da Física, em épocas anteriores: isso pode significar que elas representam um certo grau de elaboração, mais ou menos aprofundado, dos alunos. Neste sentido devem ser tratadas com as devidas cautelas: o trabalho de elaboração que leva a uma bagagem intuitiva deve ser incentivado, pois ele se tornará fundamental para quem tentará produzir novas idéias científicas; no entanto o conteúdo explícito desta elaboração deverá ser corrigido para se adequar aos

modelos atualmente usados em Física. Voltaremos a essas considerações mais adiante.

2. PESQUISA SOBRE RELAÇÕES "PEDAGÓGICAS" E EFEITOS SÓCIO-POLÍTICOS NUM CURSO BÁSICO

Um tipo de pesquisa que fornece dados de natureza diferentes dos anteriores (de certa forma) complementares quando se quer promover melhorias no ensino é a análise das relações pedagógicas entre professores, alunos e outros atores institucionais num curso de Física. Os resultados aqui encontrados são específicos do curso analisado, no entanto constituem a base para possíveis considerações mais gerais a respeito da nossa maneira de conhecer e realizar o ensino de Física.

A pesquisa parte do pressuposto de que a maneira dos indivíduos representarem-se a si mesmos e aos outros, nas atividades quotidianas, corresponde à relação que existe concretamente na prática diária. A análise das imagens envolvidas no curso dos atores, (professores, alunos, monitores, técnicos, etc.) além da observação, sistemática ou não, daquilo que acontece na prática quotidiana, fornece a base para localizar e articular as relações sociais que a instituição reproduz continuamente.

O instrumento teórico utilizado nessa análise pertence à área de sociologia e serve para categorizar os tipos de relações envolvidas e caracterizar os atores institucionais. Temos assim agentes privilegiados, agentes subordinados, mandantes, clientes, âmbito institucional, objeto institucional, etc., todos identificados e caracterizados de acordo com o modelo utilizado (10a).

Temos também vários níveis de análise: das práti-

cas, tendo em vista seus efeitos específicos ("ideológicos", "políticos" e "econômicos"), dos aparelhos com articulações das práticas e finalmente a localização do efeito fundamental da instituição analisada^(10b).

O trabalho de análise consiste em extrair as imagens fundamentais presentes nos discursos dos atores e re-articulá-las de forma coerente e significativa. Evidentemente, na medida em que os dados são articulados, faz-se um trabalho de interpretação, e quanto mais esta interpretação avança, mais ela depende do contexto teórico e ideológico do pesquisador, pois o trabalho de re-articulação obedece a diretrizes que estão implícitas no modelo teórico utilizado.

Esse aspecto exige o estabelecimento de critérios de validade bem definidos, que, nesse caso, são de dois tipos: temos os critérios internos à pesquisa caracterizados pela auto-consistência do modelo, pela coerência dos resultados e pelo cuidado prático em considerar a totalidade dos dados. Temos também os critérios externos de validade constituídos pela plausibilidade e pela relevância dos resultados: nesse sentido é fundamental a capacidade do quadro final encontrado de contribuir para um melhor entendimento daquilo que acontece no cotidiano, assim como é importante que os próprios atores envolvidos se reconheçam, pelo menos em parte, nele. Também é significativo que as outras pessoas, que de alguma forma tem relação com a Instituição analisada, se reconheçam na reconstrução e reconheçam que os resultados encontrados não são incoerentes com o contexto no qual a Instituição se insere.

Analisaram-se as entrevistas de 9 professores que ministraram teoria e laboratório e 15 alunos, iniciando-se do nível das práticas descritas e rearticulando-as para obter o efeito fundamental. As entrevistas consistiam basicamente na des-

crição das práticas dentro do curso.

Este é o quadro final que se refere a disciplina básica Física 1 e 2, envolvendo Teoria e Laboratório, no período diurno⁽¹¹⁾.

De um lado, estão as aulas de teoria, nas quais o ensino é parecido com a iniciação religiosa.

Seu efeito fundamental é de tipo ideológico, na medida em que envolve uma concepção de ciência, de pesquisador, de professor e de aluno e a consciência dos métodos para sua reprodução.

Existe um saber, cuja posse e intimidade são reservadas aos professores que o atingiram através do trabalho de pesquisa, e que constitui o atrativo e a meta dos alunos.

Em relação a este saber, quase que sacralizado, os professores tem um compromisso de fidelidade que se concretiza no imperativo de não abastardá-lo ou não "baixar seu nível". Ao revelá-lo para os alunos, através do ensino explícito e sobretudo através da maneira de "olhar" para os fenômenos, os professores se constituem em guias capazes de iniciar seus discípulos aos mistérios desse saber.

Independente das abordagens utilizadas (que comumente caracterizam um curso como teórico ou fenomenológico), dos métodos pedagógicos escolhidos (que se mostram mais ou menos liberais) ou dos instrumentos didáticos utilizados (listas de exercícios, aulas expositivas, discussões, provas, demonstrações), os professores tem um objetivo implícito fundamental: fazer com que a Física seja reconhecida como o caminho privilegiado para a compreensão da Natureza. Junto com este reconhecimento, outros são obtidos, independentemente do grau de aprendizagem explícita dos alunos e se constituem como o efeito fundamental das aulas de teoria: o professor é o mediador privilegiado e fundamental para a

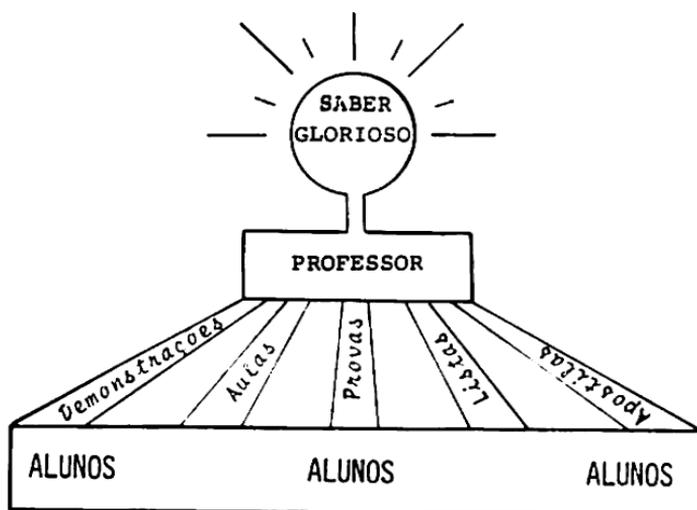
"iniciação" ao saber; e isso envolve uma hierarquia considerada natural nas relações entre professores e alunos.

É importante salientar que este quadro é o que professores e alunos mostram fundamentalmente nas suas imagens.

Neste mesmo quadro o aluno poderá atingir este saber dentro de certas condições: esquecendo-se do passado (2º grau) com seus vícios e erros, e entregando-se confiante ao guia - professor, poderá ser transformado num "homem novo", num (futuro) pesquisador. Este trabalho de transformação será operado pelo professor através de uma série de instrumentos didáticos disciplinadores (listas, provas, apostilas, demonstrações), cuja função principal é criar as possibilidades de um contato mais direto entre professor e aluno.

Ao se reconhecer num caminho duro e trabalhoso, mas rumo a "verdade", o aluno reconhecerá também que as disciplinas de Física são as mais importantes e as outras são secundárias ou complementares, devendo portanto "aguentar" com paciência as exigências destas últimas.

O esquema seguinte pode representar uma caricatura da situação descrita acima.



De outro lado está um Laboratório didático constituído de uma multiplicidade de atividades, de certa forma autônomas em relação a teoria, e estruturado numa organização que toma conta quase completamente do tempo e do comportamento de professores e alunos: experiências, seminários, "circulante", projetos, leitura de apostilas, relatórios, correção do relatório. Tudo é bem organizado "para que" alunos e professores tenham sempre o que fazer.

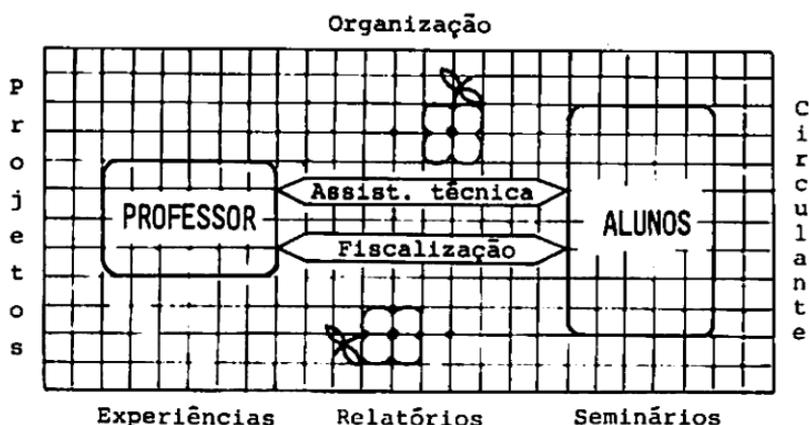
Neste sentido, apesar de existirem sem dúvida efeitos de reconhecimento que envolvem uma mudança de mentalidade, o efeito fundamental é de tipo "político": o aluno, e também o professor, aprendem a se comportar de uma determinada maneira, executando tarefas, tenham elas muito ou pouco sentido para eles.

No Laboratório didático existe uma instância externa que, mediante apostilas, aparelhagem experimental, relatórios e guias, atravessa a relação pedagógica entre professor e aluno reduzindo, de certa forma, o papel do professor ao de "assistente técnico" durante as experiências e ao de "fiscal" da Instituição, durante a correção dos relatórios. Isso porque o que está em jogo no Laboratório, na imagem de professores e alunos, não é um "saber glorioso" acumulado pelos professores e fruto da prolongada atividade de pesquisa, mas um saber técnico que ultimamente se reduz a uma simples manipulação dos instrumentos e dos dados experimentais obtidos.

A rotina quotidiana, (leitura da apostila, experiência, seminário, relatório) que se repete a cada experiência é amenizada por professores e alunos numa relação pessoal mais amigável e espontânea, na procura de elementos lúdicos nas experiências, na explicitação da imaginação por aqueles que participam dos projetos, ou em comportamentos de fuga que vão desde o dar um "jeito" nos dados experimentais até fazer pesquisas biblio

gráficas não exigidas nem consideradas pelos professores.

A situação descrita acima pode ser caricaturada da seguinte forma:



Um ponto interessante de análise, que pode ser elaborado a partir da estruturação das aulas de Teoria e de Laboratório é a relação entre elas e a conseqüente indentificação do efeito fundamental da disciplina Física 1 e 2.

Como já foi acenado, o conteúdo de Física envolvido no Laboratório, e, mais do que isso, o saber que constitui o objeto do desejo dos alunos é fornecido pela teoria: neste sentido Física se aprende fundamentalmente nas aulas de Teoria e o Laboratório constitui uma confirmação ou uma demonstração, complemento importante mas não indispensável para a formação do aluno. Por outro lado a estruturação do Laboratório, com o seu conjunto de atividades, é independente da Teoria; não somente porque a programação dos dois é feita por equipes diferentes e praticamente sem comunicação entre elas, mas sobretudo porque o efeito fundamental delas é diferente - mudança de mentalidade para a Teoria, disciplinarização para o Laboratório - e porque elas agem, competindo em pé de igualdade, para trazer para seu âmbito o tempo e o interesse do aluno, constituindo-se então como duas disci

plinas semi-independentes, da mesma forma que Álgebra ou Química.

A diferença entre as duas disciplinas - Teoria e Laboratório - aparece de forma acentuada quando se analisa o papel do professor em cada uma delas.

O esquema seguinte dá uma idéia global da assimetria entre a atividade dos dois.

Professor de Teoria

- É dono da programação do seu curso.
- É autônomo nas suas decisões.
- Utiliza o saber adquirido na pesquisa.
- É "guia", orientador e "modelo" dos alunos.
- Tem uma posição naturalmente superior.

Professor de Laboratório

- É enquadrado numa programação já pronta.
- Tem autonomia relativa enquanto "presta conta", a uma coordenação.
- Utiliza minimamente o saber adquirido na pesquisa.
- É "assistente técnico" e "fiscal institucional" da disciplina.
- Age como conselheiro, muitas vezes ao mesmo nível do aluno.

Nesta perspectiva, as aulas de Teoria, pelo seu efeito ideológico se aproximam de um modelo de ensino de tipo iniciação, com a figura dominante do professor desenvolvendo o papel de "sábio", mestre e modelo; ao contrário as aulas de Laboratório no qual o professor pode ser substituído por um técnico ou um monitor bem treinado, se aproximam de um esquema de ensino tipo treinamento, no qual se aprendem regras e comportamentos e não "sabedoria".

Será que tudo isso forma um quadro coerente ou con

tradicório? Para responder a esta pergunta precisa-se evidentemente ampliar a perspectiva da análise e considerar as aulas de Teoria e de Laboratório no contexto da formação de (futuros) físicos. Qual o significado de ter numa mesma disciplina dois efeitos dominantes diferentes? Qual dos dois é o fundamental?

Na nossa opinião podemos fazer três considerações a respeito.

Em primeiro lugar, sem dúvida o efeito "ideológico" é prioritário pois constitui a base da reprodução das condições que possibilitam a continuidade da pesquisa. De um lado, este efeito é a mola interior para desejar, começar e continuar a pesquisa e de outro lado possibilita o reconhecimento pela sociedade da importância da Física e da sua pesquisa.

Em segundo lugar, o efeito de disciplinarização também é importante pois mesmo quando o aluno já estiver atuando na pesquisa ou no ensino deverá, pelo menos se a situação atual não se modificar radicalmente, aprender regras, fazer relatórios, submeter o seu comportamento a um controle exterior.

Em terceiro lugar, o quase vazio de conteúdo do Laboratório é objeto de polêmicas dentro do Instituto de Física entre aqueles que gostariam de tornar o Laboratório um lugar onde se aprendem "os segredos" da pesquisa experimental e aqueles que consideram isso pré-maturo e querem reservar esta etapa à formação paralela nos laboratórios experimentais e na pesquisa direta.

Não queremos nos adentrar nesta discussão, pois não é o objetivo deste trabalho. Por enquanto somente nos basta ter levantado o problema das relações pedagógicas e de seus efeitos; poderemos desta forma questionar o nosso ensino do ponto de vista do seu amadurecimento e da sua capacidade formativa de alunos e professores.

3. PESQUISA NA PROGRAMAÇÃO DE CURSOS DE RELATIVIDADE

Um terceiro tipo de pesquisa, que está sendo desenvolvido pelo nosso grupo⁽¹²⁾, tem uma finalidade mais diretamente ligada a prática do ensino, referindo-se à programação de cursos de Relatividade Restrita para alunos do IFUSP e para professores de 2º grau e a correspondente produção de material didático. A escolha da teoria de Einstein como conteúdo a ser ensinado através de uma programação detalhada, é devida a sua importância profissional, cultural e educacional para os alunos do IFUSP e os professores de 2º grau. Do ponto de vista profissional várias são as possibilidades de utilização deste conteúdo na pesquisa teórica, experimental e no ensino. Do ponto de vista cultural, a importância da teoria se revela, de um lado, na sua larga difusão nos meios de comunicação escrita e audiovisual e do outro lado na sua posição de destaque no universo das teorias físicas. Do ponto de vista educacional, o estudo da teoria da Relatividade introduz o aluno numa nova visão da atividade científica, com a quebra de idéias de progresso científico contínuo (a Relatividade foi uma revolução científica), de ciência como desvendamento da natureza (a Relatividade constitui uma invenção humana, compatível com os resultados experimentais) e de atividade científica autônoma, independente do contexto social (as razões do sucesso da T.R. tem raízes também fora do ambiente científico restrito).

A finalidade da programação é o levantamento, a análise, a articulação e a experimentação de atividades e de correspondentes contextos didáticos, para que a apropriação da T.R. pelos alunos e professores se desenvolva de forma harmoniosa tendo em vista seu futuro profissional, cultural e educacional.

Quanto ao procedimento específico, utilizado nas programações, ele consta de três passos fundamentais: 1) definição dos objetivos e do contexto da programação, 2) elaboração e execução da programação e, 3) avaliação e reformulação.

Na definição dos objetivos e do contexto da programação, a análise da utilidade específica da teoria da Relatividade desempenha um papel importante para o futuro profissional, cultural e educacional do aprendiz, assim como para a localização das condições de partida, em termos de conhecimentos teóricos, idéias "espontâneas", habilidades e motivações. Por isso, o esforço maior deve estar na invenção de objetivos específicos cuja realização se dê em contextos bem semelhantes à futura utilização extra-escolar do conhecimento adquirido.

Na elaboração e execução da programação uma atenção especial deve ser dada à definição do conteúdo a ser ensinado, para que ele se refira a totalidade dos aspectos de crescimento cognitivo que quer favorecer, e à sequência de atividades, para ela se adequar aos objetivos e às condições de contorno dos alunos.

Finalmente, na avaliação, é importante salientar que não somente deve ser analisada a relação atividades - objetivos, mas também a relação objetivos-possibilidades concretas da população atingida.

Cada um desses passos é subdividido em ítems específicos de procedimento, que por sua vez são executados de forma cíclica; ou seja, cada um dos ítems é executado com um certo nível de profundidade, compatível com as condições de contorno da pesquisa, e em seguida é retomada uma nova formulação da programação, até atingir um nível considerado satisfatório. Isso permite o aproveitamento de todas as informações que vêm da aplica-

ção concreta da programação, informações que às vezes são de importância fundamental para a própria programação - por exemplo, informações sobre as condições de entrada dos alunos em termos de conhecimentos ou habilidades ou noções "espontâneas" somente aparecem de forma concreta e efetiva nas discussões ou nas soluções de exercícios e problemas.

Apesar do projeto estar ainda na sua fase inicial, já existem resultados preliminares importantes.

Em relação ao papel da Teoria da Relatividade na formação de futuros professores e pesquisadores, foi levantada a sua função básica enquanto Teoria que tem ligações com outras teorias (Mecânica Quântica, Teorias de Campo, etc.) e que as condiciona. Além disso a sua ruptura conceitual com a Mecânica Clássica é importante para questionar o ensino desta última no 2º grau, enfatizando as suas limitações. Assim os conceitos de espaço, tempo, velocidade limite, massa e energia tem um significado diferente quando tratados na Teoria de Newton ou na Teoria de Einstein. Consequentemente o ensino da T.R. torna-se indispensável na formação de professores e futuros pesquisadores.

Em relação às condições institucionais, ficaram definidos alguns pontos. Em primeiro lugar que um tratamento extenso e completo para alunos de graduação deverá envolver o trabalho ao longo de 2 semestres, em segundo lugar, um tratamento simplificado e satisfatório para professores de 2º grau provavelmente poderá ser obtido mediante 2 cursos de extensão de 40 horas aula cada: o primeiro dedicado a exposição da Teoria da Relatividade (cinemática e dinâmica) e o seu confronto com a Teoria de Newton, o segundo dedicado a exposição histórica do desenvolvimento da teoria do eter eletromagnético e seu confronto com a Teoria da Relatividade.

Em relação as condições iniciais dos alunos os resultados mais importantes foram a localização de alguns pré-conceitos bem enraizados ligados a espaço-tempo, referencial e medida física, seja nos alunos de graduação, seja nos professores de 2º grau. Assim a idéia de um tempo absoluto, independente do referencial, muitas vezes continua a ser utilizada na resolução dos paradoxos e a idéia de constância da velocidade da luz no vácuo constitui uma noção vaga, utilizada como "deus ex maquina" para resolver todos os casos ambíguos (da mesma forma que o atrito constitui para muitos a solução de todas as dúvidas em dinâmica elementar).

Os professores de 2º grau, em termos de habilidades, revelaram uma dificuldade generalizada em operar matematicamente e uma relutância a se dedicar ao estudo do material didático escrito, sem uma exposição oral prévia pelo professor. Estes mesmos problemas apareceram nos alunos de graduação do curso noturno, e provavelmente estão ligados, pelo menos em parte, à pouca disponibilidade de tempo que impede um aprofundamento da aprendizagem, que por sua vez constitui um reforço indispensável para continuar a aprender mediante a leitura. Ao contrário, os alunos do curso diurno em geral, tem reagido de forma bastante adequada à leitura e discussão, desligando-se progressivamente da dependência em relação às aulas expositivas.

Na definição do conteúdo específico do curso de graduação, foram introduzidas modificações significativas em relação aos cursos tradicionais de Relatividade, seja pela utilização da análise histórico-filosófica, seja pela ênfase contínua à discussão conceitual e dos pressupostos. Com isso tentou-se ampliar o universo cultural do aluno e questionar os pressupostos ideológicos que, em geral, caracterizam a visão de ciência do aluno.

Para o curso de graduação, a sequência de conteúdo abrange: Cinemática e Dinâmica relativística na formulação einsteiniana, Cinemática e Dinâmica relativística na formulação quadridimensional, Eletrodinâmica, História do Éter Eletromagnético, Confronto Éter-Relatividade, Nascimento da Relatividade Geral e Introdução às Teorias alternativas Neo-lorentzianas.

Em relação a sequência de atividades, a programação do curso de graduação deu ênfase a leitura e discussão. Isso exigiu a produção de material didático escrito apropriado: o resultado final será um livro didático escrito com uma finalidade específica, mas utilizável também em outros contextos e outras universidades brasileiras. Para tanto foi adotada, na produção dos primeiros capítulos uma metodologia específica que de um lado facilitasse o rigor e a simplicidade da exposição, e de outro lado permitisse a introdução de possíveis temas de reflexão e discussão mais abrangentes.

A programação do primeiro dos cursos de extensão para os professores de 2º grau deu ênfase a uma série de atividades para concentrar a aprendizagem, tanto quanto possível, à sala de aula. Filmes, loops, leituras em grupo, exposição didática, discussão em plenário, tudo foi planejado para proporcionar continuidade e gradualidade na aprendizagem.

Na primeira execução da programação, em condições provisórias, foi localizada a observação específica, ainda que qualitativa, da inteligibilidade dos textos oferecidos (curso de graduação), da motivação dos professores de 2º grau e de sua consciência quanto a relevância profissional do conteúdo apresentado.

Os resultados destas observações de forma global apontam para um sucesso parcial, dando indicações para algumas modificações que aumentem a simplicidade e a linearidade dos textos, sobretudo no curso de graduação e reforcem a clareza das con

clusões nas discussões em sala de aula, sobretudo no curso de ex tensão.

Nesta mesma análise verificou-se que, apesar dos textos estarem claros e inteligíveis, os objetivos a que eles de viam levar os alunos de graduação não eram completamente adequados: a reconstrução da estrutura da teoria da Relatividade e o reconhecimento do seu caráter de opção teórica plausível, mas não única, não são objetivos simples a serem atingidas, sobretudo por que os alunos estão acostumados a lidar com conteúdos e visões fragmentárias das teorias e não desenvolveram o hábito de analisar as hipóteses básicas que as sustentam. Por isso na reformulação dos textos e da programação deverá ser dada uma ênfase par ticular a discussão sistemática destes pontos; não esperamos que sua apropriação seja fruto implícito da tomada de consciência e síntese dos alunos, mas proporemos estas idéias explicitamente e sistematicamente desde o começo do curso.

O incentivo à solução de exercícios e problemas, que visava alcançar uma familiarização básica dos alunos com o formalismo e seu significado foi pouco eficiente. Isso apareceu com maior evidência no curso de Extensão Universitária, onde a pouca disponibilidade de tempo fora da sala de aula prejudicou o desenvolvimento individual de exercícios e problemas. Como a ex posição certamente deixou transparecer, trata-se ainda de uma pes quisa em fase inicial de elaboração, mas viável e de grande fô lê go, pelas inúmeras atividades que ela envolve seja por parte dos programadores, seja por parte dos alunos.

4. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Nos ítems anteriores apresentamos alguns resultados, às vezes parciais e provisórios, de pesquisas realizadas pelo nosso grupo, antecipando que elas constituem uma forma nova de enfrentar os problemas da pesquisa em Ensino de Física. Neste ítem final veremos como estes resultados se complementam e oferecem sugestões concretas viáveis e abrangentes para enfrentar situações complexas de Ensino de Física.

A primeira pesquisa nos mostrou a existência de um mundo físico "espontâneo", próprio do aluno e constituindo o ponto de partida, pelo menos parcial, da sua aprendizagem.

Na realidade há um confronto entre a Física ensinada (oficial) e a "espontânea" e sem dúvida o objetivo do ensino é a aprendizagem da oficial; este confronto muitas vezes se realiza de forma pouco harmoniosa e seu resultado não é uma visão conceitual coerente e rica, mas a superposição e justaposição de conceitos de diferentes origens e alcance, que prejudica qualquer pretensão de aprofundamento teórico do aluno.

A segunda pesquisa nos revelou que a interação professor-aluno tem um efeito "ideológico" marcante, acima e além da aprendizagem específica do aluno. A figura do professor como guia e "sábio" é a que legitima a sua intervenção arrasadora nas idéias prévias dos alunos e na sua maneira de conceber o trabalho de entendimento da realidade. Neste contexto, então, as suas idéias "espontâneas" são exorcizadas, pois se visa à criação de um homem novo, feito a imagem e semelhança do professor. Todo um esquema é montado cujo efeito final é a disciplinarização e a aprendizagem de comportamentos, tais como executar tarefas, fazer relatórios e cumprir ordens independentes do significado delas.

Diante desta intervenção quase "cirúrgica" do en-

sino e suas consequências eventuais de "transplante" e/ou "rejeição", poderíamos ter uma atitude negativista, não reconhecendo qualquer valor ao ensino institucionalizado e pregando sua abolição incondicionada. Mas esta não é a única possibilidade. É possível levar a sério a perspectiva profissional do aluno e esforçar-se para que o ensino de adegue a ela. Foi o que tentamos apresentar na terceira pesquisa que visa programar cursos de Relatividade para alunos de graduação e professores de 2º grau, tendo em vista o futuro cultural, profissional e educacional do aluno. O grande esforço desta pesquisa, ainda em fase inicial, é a adaptação de um conteúdo já formalizado as exigências de alunos com diferentes perspectivas e diferentes contextos culturais, através da programação de eventos e atividades que favoreçam a aprendizagem na sua forma mais significativa para o aluno.

Será que com semelhante proposta os efeitos "ideológicos" e "políticos" da ação do professor foram deixados de lado na ilusão de uma preocupação com a aprendizagem significativa do aluno? Na nossa opinião não foi esquecido esse pano de fundo que permeia a natureza intrínseca do ensino institucionalizado assim como não foram esquecidos seus efeitos benéficos, sobretudo sua possibilidade de introduzir o aluno no mundo da ciência, onde se procura entender a realidade de maneira dinâmica, plausível e coerente.

A própria programação foi pensada como um ponto de partida, viável e aceitável, reduzindo os efeitos de doutrinação e disciplinarização, na medida do possível, favorecendo a tomada de consciência da necessidade de uma efetiva participação dos alunos no planejamento das condições de aprendizagem. Espera-se criar condições para que programações futuras favoreçam uma interação mais cooperativa entre professores e alunos no processo de

aprendizagem e apontem para uma inserção mais rápida, mais consciente e mais crítica dos alunos no mundo da Ciência.

Nesta perspectiva podemos dar algumas sugestões que emergem dos trabalhos relatados e condensam o nosso conhecimento elaborado em anos de pesquisa, para que intervenções concretas no ensino de Física tornem-se propedêuticas para uma mudança substancial.

- Atentar durante o curso para o aparecimento de noções espontâneas diferentes das formais que são ensinadas. Explorá-las e analisá-las para que não constituam estruturas de conhecimento superpostas.

- Atentar para o significado vivo que a aprendizagem tem para o aluno em termos culturais e profissionais: neste sentido descobrir a relação entre a física ensinada e a sua utilização, posterior, no ensino, na pesquisa e na vida cultural.

- Facilitar, para o aluno, a tomada de consciência do significado cultural e profissional daquilo que ele parece, de forma que ele se capacite progressivamente para definir o que é importante e o que é secundário na sua aprendizagem.

- Explicitar a estrutura do conhecimento proposto, de forma que a apropriação desse conhecimento pelo aluno não seja fragmentária e não permita compartimentos estanques.

- Facilitar para o aluno a tomada de consciência do significado da experimentação em Física e incentivar a programação de Laboratórios didáticos nos quais os alunos sejam introduzidos ao saber dos Físicos experimentais.

- Complementar a meta de iniciação científica com o objetivo de demitização da Ciência; em outras palavras, incentivar a tomada de consciência da precariedade do saber e da sua natureza de

construção intelectual provisória.

- Atentar para a História da Ciência sobretudo nos casos cruciais que revelam mais diretamente a natureza do conhecimento científico, suas rupturas e suas relações com a sociedade; na análise da relação entre teorias sucessivas apontar explicitamente as diferenças conceituais e as semelhanças formais.

- Limitar a utilização de modelos auto-instrutivo e disciplinadores à instalação de repertórios cujo significado seja inserido num contexto de aprendizagem mais amplo. Em outras palavras, subordinar explicitamente a administração do tempo e a manipulação do comportamento a uma relação adequada, na qual os próprios alunos se tornem agentes institucionais e não somente clientes.

- Propor e deixar espaço para iniciativas nas quais a relação pedagógica assuma conotações diferentes, mais próximas da colaboração do que da subordinação. Salientar que este tipo de relação é uma conquista e não um dado de partida.

Evidentemente estes tipos de considerações são de natureza geral, no entanto a tentativa de levá-los à sério modifica bastante o tipo de atividades a serem desenvolvidas e, sobretudo, a postura de alunos e professores frente ao curso e ao ensino.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à leitura crítica, aos comentários e às sugestões da colega M. Regina Kawamura.

REFERÊNCIAS E NOTAS

1. Este trabalho é uma reelaboração e ampliação de uma conferência ministrada por um dos autores (A.V.) no curso de Difusão Cultural: "Pesquisas no Departamento de Física Experimental", em novembro de 1982, no IFUSP.
2. a) A. Villani, "Considerações sobre Pesquisa em Ensino de Ciências. I-A. Interdisciplinaridade" - Rev. Ensino de Física 3(3) (1981), p. 68.
b) A. Villani, "Considerações sobre Pesquisa em Ensino de Ciências. II. Seu significado, seus problemas e suas perspectivas" - Publicações IFUSP/P-361 (1982).
3. Este grupo é formado pelos autores e por estudantes de pós-graduação em Ensino de Ciências, Mod. Física, cujos nomes serão citados ao serem relatadas as pesquisas na qual colaboraram.
4. Colaboraram nestas pesquisas os estudantes W. de Carvalho e L.O. de Carvalho.
5. Estamos nos referindo ao grupo da Universidade Paris VII, coordenado por L. Viennot.
6. O trabalho mais significativo nesta área é de L. Viennot, "Le Raisonnement naturel em Dynamique Élémentaire". Thèse, Université Paris VII (1977).
7. Os dados para estas conclusões foram extraídas de testes e entrevistas com alunos de escolas de 2ª e 3ª graus da Capital, inclusive da USP.
8. O trabalho mais significativo nesta área é: E. Saltiel, "Concepts cinématiques et raisonnements naturels: étude de la compréhension de changements de référentiels galiléens par les étudiants en science". Thèse, Université Paris VII (1978).

9. Este tipo de resultado parece não ter sido encontrado nos alunos franceses; ou, se foi encontrado, foi desprezado, como não significativo para objetivos da pesquisa.
10. A exposição detalhada do instrumento teórico utilizado pode ser encontrado em:
 - a) J.A. Guilhon Albuquerque: "Metáforas da desordem", Rio de Janeiro, Ed. Paz e Terra, 1978.
 - b) J.A. Guilhon Albuquerque: "Instituição e Poder", Rio de Janeiro, Graal Editora, 1980.
11. Maiores detalhes sobre a análise e os resultados podem ser encontrados em R.I. Kishinami: "Análise das relações institucionais num curso básico de Física", dissertação de Mestrado, IFUSP-FEUSP, 1982.
Também A. Villani, J.L.A. Pacca, R.I. Kishinami, Y. Hosoume: "Relações pedagógicas e efeitos ideológicos e políticos num curso básico de Física". Em preparação.
12. Esta pesquisa teve a participação dos seguintes alunos de pós-graduação: A.L.C. Suyama; W.C. Gennari; R. Rovigatti, e teve a colaboração da Profa. F.C. Sampaio.