

AS REVOLUÇÕES QUE NÃO CONVENCEM: UM DESAFIO PARA O ENSINO DE FÍSICA *

GLÓRIA PESSÔA QUEIROZ & SONIA KRAPAS TEIXEIRA

Resumo - A pesquisa em Ensino de Física tem revelado que antes do ensino, e muitas vezes apesar dele, os estudantes possuem um saber que difere da ciência que se quer ensinar, mas que guarda certas similaridades com o pensamento de antigos cientistas. A leitura da História da Ciência tem contribuído para desenvolvermos estratégias de ensino que possibilitem mudanças conceituais inerentes às revoluções científicas. Neste trabalho apresentamos exemplos de concepções alternativas à Ciência, detalhamos a controvérsia vis viva - momentum e apresentamos diretrizes didáticas para o emprego desta controvérsia no ensino de energia cinética e quantidade de movimento. Além disso damos um panorama da expansão do trabalho do grupo de pesquisa em Ensino de Física da UFF.

Abstract - The Physics Teaching research has showed that before schooling, and despite of it, students have a different knowledge comparing with the scientific knowledge, but in many aspects very similar to the ancient scientific thinking. Science History has contributed with us to develop teaching strategies in order to make possible some scientific revolutions with its conceptual changes. Some alternative conceptions are presented in this paper, and we detail the vis viva-momentum controversy, showing some didatic indications to use this controversy when teaching kinetic energy and momentum. We also give a view to the Physics Teaching research group enlargement.

Introdução

Assim como Millôr, com sua sutileza, aborda a questão da concepção do senso comum acerca da imobilidade da Terra, a pesquisa em Ensino de Física tem revelado, de maneira sistemática, a existência desta e de outras concepções em pessoas de diferentes idades, escolaridade ou nível sócio-econômico.

Por que algumas das principais revoluções ocorridas na história não chegam a convencer a maioria das pessoas, apesar da escola? Este trabalho tem como objetivo geral trazer resultados da área da pesquisa em Ensino de Ciências que buscam responder a esta pergunta.

A pesquisa nesta área iniciou-se com o interesse pelos erros que comumente eram cometidos pelos alunos. Mas foi somente quando esses erros deixaram de ser encarados como simples curiosidade para serem entendidos como resultado de

uma etapa do processo de construção do conhecimento que a pesquisa se desenvolveu plenamente. Foram então realizados levantamentos sistemáticos acerca do que passou a ser conhecido como concepções alternativas em Ciências, assim chamadas por se diferenciarem da Ciência oficial. Detectou-se nestes levantamentos que muitas destas concepções apresentam características marcantes tais como: coerência interna e pragmatismo, que as tornam extremamente resistentes ao ensino.

Já nos primeiros trabalhos foram encontradas similaridades e diferenças entre o pensamento dos estudantes e de cientistas de outras épocas (VIENNOT, 1977, p. 113-130 e SALTIEL, 1978, p. 226-241). Isso fez com que aumentasse ainda mais o interesse pelo estudo das concepções alternativas dos estudantes, dada a seriedade com que essas noções

* Comunicação apresentada no 6º Colóquio de História da Ciência realizado em Campinas em agosto de 1990

PRECONCEITO MUITO PRA FRENTE

Toda hora eu vejo, em jornais, revistas, televisão, e na rua, pessoas cada vez mais “livres” de preconceitos e... E no entanto todas estão convencidas de que a Terra gira em torno do Sol. Por quê? Pergunte a elas e elas responderão: “Vê, Galileu “provou” isso, há muito tempo”. Mas provou pra quem? Pode ser que tenha provado pros cientistas. O homem comum, e mesmo nós, os pejorativamente chamados intelectuais, aceitamos e pronto. Sem pensar. Preconceituosamente. Como antes de Galileu acreditávamos que o Sol girava em torno da terra. Mas, entre Galileu — de cujas “provas” nunca tomamos conhecimento nem sabemos dizer quais são — e a realidade, que literalmente salta (gira) a nossos olhos, temos que acreditar é em nossos olhos. Nossos olhos vêem, com absoluta certeza, que o Sol nasce ali (a leste) e morre do outro lado (a oeste), girando em torno de uma terra absolutamente parada (terremotos à parte), sobre a qual caminhamos sem sentir o menor movimento. Pra mim o sol gira em torno da terra e estamos conversados:



Quadro 1.

Millôr Fernandes. Preconceito muito pra frente. *Jornal do Brasil*, p. 11, 26-01-90.

foram consideradas pela comunidade científica no passado. Do ponto de vista didático, este fato conduz a uma postura de interação com os alunos que não subestimam as dificuldades encontradas por eles nos processos de mudança conceitual.

Neste sentido, a História da Ciência não é usada por nós como simples elemento de motivação, o que significa que não é qualquer conteúdo dela que se presta à estratégia de ensino que propomos. Vemos validade na utilização de temas históricos que guardam semelhanças com as concepções dos alunos, o que possibilita que

as controvérsias e os debates sejam revividos na sala de aula de modo a promover mudanças conceituais.

Num outro paralelismo, tanto a pesquisa em Ensino de Ciências quanto em História da Ciência utilizam a Filosofia da Ciência como sistema interpretativo das mudanças desejadas ou ocorridas, bem como das grandes resistências a elas. Leva-se em conta aí o leque de relações entre a Ciência, seu ensino e sua aprendizagem com sua filosofia e história (ELKANA, 1970; ROBILOTTA, 1985; ZYLBERSZTAJN, 1988).

Dessa forma, temos procurado nos beneficiar do estudo do desenvolvimento histórico dos conceitos científicos para o estudo das concepções dos estudantes. Do mesmo modo o inverso tem ocorrido, facilitando assim a leitura histórica da Ciência. Percorrer estes dois caminhos tem nos servido de fonte de inspiração para desenvolver estratégias de ensino que venham a possibilitar que as revoluções sejam vividas por nossos alunos.

Mostramos neste trabalho experiências que tratam como o grupo de pesquisa em Ensino de Física da UFF tem trabalhado nos últimos anos nesta direção.

As concepções dos estudantes e suas características

A pesquisa em Ensino de Ciências, em várias áreas, tem mostrado que o saber construído pelas pessoas, desde a mais tenra idade, é diferente em grande parte da Ciência oficial. Isto não é novidade para nenhum professor, habituado a ouvir seus alunos. No levantamento das concepções que constituem este saber, vê-se que elas são comuns a um grande número de pessoas, podendo em cada tema ser agrupadas em um número limitado, e apresentando, além disso, mecanismos de construção comuns a vários temas.

Dentro do conteúdo de Física há trabalhos em Ótica, Eletricidade, Termodinâmica e, principalmente, em Mecânica (PFUNDT e DULT, 1988), área básica tanto na história da Física quanto do próprio indivíduo. Apresentamos a seguir alguns exemplos:

- ☞ Uma concepção alternativa clássica é aquela que associa sempre uma força no sentido da velocidade. Esta força não é resultado de in-

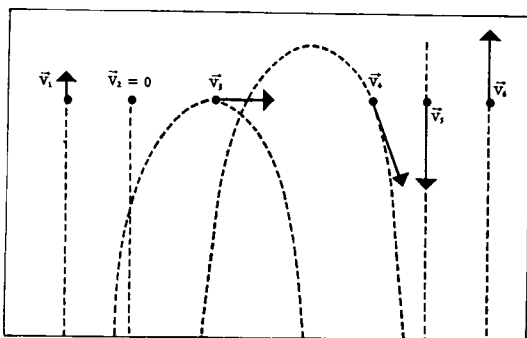


Figura 1. Problema do Malabarista

teração mas é uma força interna capitalizada pelo corpo e que pode se gastar ou não, dependendo do atrito ou do tempo. Um exemplo que revela tal concepção é o do malabarista (VIENNOT, 1977, p. 17-23), que atira para o ar bolas iguais, que num dado instante possuem diferentes velocidades: essas bolas teriam forças diferentes, uma vez que se associa força no mesmo sentido da velocidade.

- ☞ Em Ótica o fenômeno da visão de objetos é explicado muitas vezes pela emissão de um raio que parte do olho e alcança o objeto.

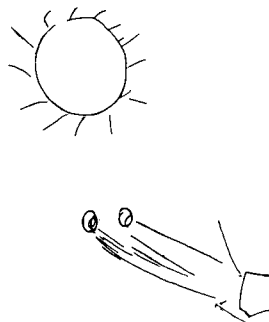


Figura 2. Desenho de Carlos (11 anos). Representa o Sol, um objeto e os olhos do observador, de onde saem raios de luz atingindo a borracha (KRAPAS TEIXEIRA, 1982)

- ☞ Em Eletricidade a corrente elétrica é algo que se gasta num circuito de resistências em série, fazendo prever que uma lâmpada brilhará mais do que outra de mesma potência. (CLOSSET, 1983.)
- ☞ Em Termodinâmica a impossibilidade do vácuo está presente em várias explicações, a começar pela concepção da matéria, que de início é contínua. Com a intervenção do ensino a matéria passa a ser descrita como composta por moléculas entre as quais, porém, não se concebe ausência de matéria. Em vez disso entre elas existem ar, poeira etc (QUEIROZ, 1986).
- ☞ Em Cosmologia elementar algumas pessoas não se dão conta de que vivem na superfície da Terra ou imaginam os moradores do hemisfério sul com a cabeça encostada no solo. Em ambos os casos aparece a pseudonecessidade de manter a mesma orientação "para cima" dos habitantes do hemisfério norte.
- ☞ Em relação à Flutuação dos Corpos, o peso ou o tipo de material do qual é feito o objeto

justificam o fato do corpo flutuar ou não (CARRETERO, 1979).

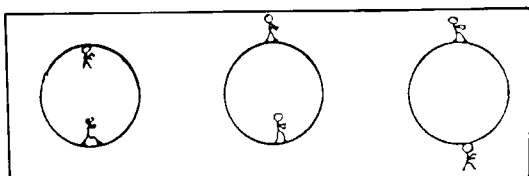


Figura 3. Desenho de professores de 1º grau participantes de Cursos de Extensão Universitária (QUEIROZ e AZEVEDO, 1987).

Estes são apenas alguns exemplos de um rol já bastante extenso de concepções espontâneas encontradas na literatura. A seguir apresentaremos suas principais características, as quais nos dão indicações de que essas concepções devem ser consideradas não como um problema individual, mas como algo que requer uma análise mais rigorosa.

As idéias dos alunos são coerentes dentro do seu modo de pensar (DRIVER, GUESNE e TIBERGHEN, 1985, p. 1-5), ainda que os critérios de coerência não sejam os mesmos que os usados pelos cientistas. Os estudantes não possuem, por exemplo, um modelo único para uma gama de fenômenos que os cientistas consideram como equivalentes. E, por não sentirem necessidade de uma coerência ampla (do sistema total), enfrentam as contradições entre suas idéias e as experiências vivenciadas através da anexação de hipóteses *ad doc*. É assim que ao serem questionados sobre a flutuação de corpos os estudantes afirmam que os corpos flutuam porque são leves. Quando lhes apresentamos um corpo pesado que flutua, acrescentam que estes flutuam porque têm ar dentro. Vale observar que muitas vezes os estudantes nem sequer reconhecem tais contradições. Para compreender o que pensam os estudantes, precisamos estar atentos à maneira como suas idéias fazem sentido para eles, ou seja, procurar coerência interna nas suas concepções.

A introdução de hipóteses *ad doc* tem a vantagem de ser extremamente pragmática, servindo para resolver problemas da vida cotidiana. Este pragmatismo é uma outra característica importante das concepções alternativas. Por exemplo, para que a ação de derrubar uma lata com uma bola

tenha sucesso, não importa se a força que derruba a lata seja concebida como uma entidade que surge no momento da interação ou se ela é uma força que a bola ganhou do arremessador e carrega o tempo todo até atingir a lata (força interna).

Nos exemplos dados mostramos uma espécie de instantâneo fotográfico de algumas concepções dos estudantes. No entanto o que se tem constatado é que elas constituem esquemas ativos, sofrendo permanentes alterações. Assim, por exemplo, no caso da visão de objetos, inicialmente o que sai do olho é luz, em seguida o olho ainda mantém um papel ativo, mas agora é indispensável que os raios da fonte luminosa também atinjam os objetos e, finalmente, chegue-se à concepção do olho como simples receptor de luz. Evoluções deste tipo, também encontradas no desenvolvimento de muitos outros conceitos, resultam do processo de construção do conhecimento físico a partir das primeiras interações do indivíduo com o mundo.

As concepções alternativas apresentam similaridades com as idéias desenvolvidas na história da Ciência.

No fenômeno da visão dos objetos, vamos encontrar também nos gregos idéias de que algo sai do olho em direção aos objetos vistos. Para Empédocles, há um fogo elementar interno que vem do interior para o exterior do olho - um tipo de fluxo visual. Os Pitagóricos falam num fogo invisível que vai do olho para o objeto. Estas idéias são formalizadas por Euclides num postulado: "Os raios emitidos pelo olho viajam em linhas retas" (ANDERSON e KÄRRQVIST, 1983).

A idéia da impossibilidade do vácuo tem ocupado uma posição de destaque dentro do panorama da História da Ciência (MARTINS, 1989). Vale acrescentar que, embora o conceito de vácuo esteja subjacente ao modelo atômico da matéria, as características e propriedades do vácuo têm sido alvo de pesquisas até os nossos dias.

No desenvolvimento histórico da lei da inércia podemos encontrar, para explicar o movimento de projéteis, uma força motriz incorpórea, cedida pelo lançador ao projétil. Ao longo do tempo os pensadores oscilaram em considerá-la permanente ou não (FRANKLIN, 1976), mas sempre dentro de uma postura antiinercial (ÉVORA, 1988, p. 57-72). Tal postura é também encontrada na concepção dos estudantes quando, por exemplo, explicam o movimento de uma bolinha lançada para cima:

"Na subida, a força que eu dei à bolinha é maior que a força-peso; quando as forças-peso e da bolinha se igualam a bolinha pára e desce porque a força-peso vence a força da bolinha."

É interessante ressaltar que nem todas as concepções alternativas encontram similar completo na História da Ciência (valendo o contrário também). No caso do movimento dos corpos, Buridan, por admitir que a força impressa é permanente, a não ser num meio que ofereça resistência, foi levado a negar a existência do vácuo. No entanto, os alunos podem muito bem conceber uma força impressa permanente sem levar em conta a questão do vácuo. Isto se explica porque o aluno, como um ser contemporâneo, não considera, tal como Buridan considerava, a impossibilidade das esferas concêntricas do mundo aristotélico serem perfuradas.

Pode ocorrer também que algumas das concepções dos alunos não encontrem similar na História por resultarem da assimilação de conteúdos divulgados pelos meios de comunicação e pela escola a concepções espontâneas desenvolvidas anteriormente. Utilizam os conceitos aprendidos de uma maneira comprometida com suas pré-concepções, resultando incompatibilidades com a Ciência que não são percebidas por eles. Um exemplo disso é conceber as forças centrípeta e centrífuga como um par de ação e reação aplicadas num mesmo corpo, de modo a justificar o pseudo-equilíbrio do corpo num movimento circular uniforme.

De todas as características das concepções alternativas a mais surpreendente é a resistência que muitas delas oferecem à instrução. Tem-se constatado que, mesmo passando por cursos universitários de Física Newtoniana ou Relativística, os estudantes ainda possuem visões pré-revolucionárias (VILLANI e PACCA, 1987).

Dada a repercussão dessa característica no âmbito do ensino e da aprendizagem, vamos abordá-la mais detalhadamente a seguir.

Por que algumas das principais revoluções ocorridas na história não chegam a vencer, apesar da escola?

O pragmatismo e a coerência interna, características das concepções alternativas levantadas na seção anterior, capacitam o sujeito conhecedor a fazer boas previsões qualitativas, o que lhe garante equilíbrio e satisfação diante de suas justifi-

cativas ou explicações referentes a experiências cotidianas pontuais. Podemos então perguntar: que motivos levariam um estudante a abandonar sua explicação em favor de outra, mais elaborada, da Ciência oficial? Este abandono envolve o que se tem chamado *mudança conceitual*, que consiste numa troca de um sistema conceitual, ou de uma maneira de ver referente a determinados fenômenos, por um novo sistema conceitual referente aos mesmos fenômenos. Neste sentido, tal definição pode ser empregada tanto para as mudanças vividas no ensino como na história, lembrando, no entanto, o que afirma Villani:

"O progresso científico é caracterizado pela presença de mudanças radicais que envolvem não somente as teorias, suas estruturas e seus conceitos fundamentais, mas também as metodologias e até os valores e objetivos perseguidos na prática científica" VILLANI (1990).

Surge aqui a questão de como a escola tem utilizado o espaço da sala de aula para promover mudanças, em muitos aspectos semelhantes às revoluções científicas.

A visão de ensino que permeia a prática pedagógica tradicional é aquela em que o aluno é considerado como uma *tabula rasa*. Suas idéias prévias são ignoradas e sobre ele é depositada uma teoria acompanhada de informações sobre resultados experimentais. Para que o aluno adquira uma determinada estrutura conceitual, basta basear o ensino na própria estrutura da matéria e procurar desenvolvê-la através de boas aulas expositivas. O ensino é compartimentalizado de modo a apresentar a Ciência asceticamente (ROBILOTTA, 1988).

Com este tipo de ensino, a maioria dos alunos passa a encarar a Ciência como um conjunto de regras e relações sem significado, uma vez que esta não guarda nenhuma relação com a sua experiência. Resolvem deixá-la aos especialistas, recusando-se a aprendê-la. Uma boa parte dos alunos, no entanto, decide encará-la mesmo como um conjunto de regras, com nomes diferentes e fórmulas, e obtém sucesso devido ao compromisso entre as formas de ensinar e de avaliar da escola.

No entanto, a pesquisa em Ensino de Física tem evidenciado o fato de que mesmo estudantes aprovados dentro dessa prática pedagógica mantêm suas pré-concepções quando diante de problemas cuja pergunta remete a conjecturas anteriores surgidas na sua lida com o cotidiano, e que por-

tanto não suscita de imediato a aplicação de alguma fórmula.

Uma outra visão de ensino, alternativa à *transmissão verbal* que acabamos de comentar, emprega o *método da descoberta*, que pretende que os alunos redescubram a Ciência por eles mesmos. A aprendizagem é baseada em experiências realizadas em laboratórios bem planejados. Novamente a pesquisa em ensino tem mostrado que tal método de descoberta tem falhado. Ou os estudantes não descobrem o que o professor pretende, ou usam a evidência empírica para reforçar suas pré-concepções em vez de se estimularem a mudá-las. Assim, tanto as observações dos estudantes como suas interpretações são influenciadas por suas idéias anteriores.

Estas duas concepções de ensino tentam enfrentar, por dois caminhos distintos, o desafio de justificar aos estudantes o conteúdo que lhes é ensinado. No primeiro, o encadeamento lógico do conteúdo é considerado suficiente, e no segundo pretende-se alcançar através da indução a verdade de afirmações universais a partir de experiências singulares. A primeira concepção nos parece uma tentativa puramente racionalista enquanto a segunda tem base na epistemologia empirista-indutivista.

Dentro da filosofia da Ciência, estas duas concepções de ensino não encontram sustentação. Há argumentos (ROBILOTTA, 1988) que defendem que a Física não é um corpo de conhecimentos independentes de opiniões pessoais ou preconceitos, não sendo neutra, apolítica, e não descrevendo o mundo natural tal como ele realmente é. Tais argumentos têm a ver com a lógica da indução à qual Popper se opõe; com a idéia, defendida principalmente por Piaget, de que a observação dos fatos é influenciada pelos esquemas teóricos do observador; e com a busca de exemplos históricos tão largamente explorada por KHUN.

Atualmente está se explorando uma alternativa às duas concepções de ensino que acabamos de comentar. Nela as concepções prévias dos alunos são o ponto de partida para um ensino que tem na mudança conceitual um objetivo a ser perseguido.

Da análise da filosofia da Ciência que se opõe ao positivismo clássico diversos autores indicam diretrizes a serem tomadas no ensino de Ciências enquanto outros relatam resultados concretos obtidos em experiências didáticas que seguem tais diretrizes. Baseado em Popper temos o trabalho de SILVEIRA (1989); em Lakatos, o de

DAWSON e ROWELL (1984); em Popper e Lakatos, o de SILVEIRA (1993); em Kuhn, o de ZYLBERSZTAJN (1989); em Piaget, os de POSNER (1982), KRAPAS-TEIXEIRA (1989) e SARAIVA (1986); e em Laudan, ALBERTO VILLANI (1990).

A seguir, passamos a descrever de que forma certos aspectos da Epistemologia e da História da Ciência têm permeado a atuação do grupo de pesquisa em Ensino de Física da UFF.

Uma abordagem construtivista para o ensino de ciências

Em nossa experiência didática nos três graus de ensino têm sido imprescindíveis os conhecimentos acerca da Filosofia da Ciência bem como da História da Ciência em pontos que se tocam com as concepções prévias dos estudantes.

Como professores da área científica, temos adotado uma postura eclética, valendo-nos, tal como recomendado por ZYLBERSZTAJN (1988), das diversas versões da Filosofia e da História da Ciência, reconhecendo que cada uma delas pode revelar diferentes facetas do conhecimento científico. Como pesquisadores em Ensino de Física, nossa postura é necessariamente mais fechada. No entanto, podemos dizer que, tanto como pesquisadores como professores, procuramos adotar posições que se opõem ao positivismo clássico.

Nossa abordagem didática tem-se caracterizado na ênfase dada à construção do conhecimento pelo sujeito. Para isto, acreditamos que seja necessária a tomada de consciência pelo aluno do seu papel ativo.

É importante, por exemplo, que o aluno de 3º grau reconheça que o penoso caminho da Ciência, de Aristóteles a Einstein, não será vencido a passos rápidos, num trajeto sem desvios. É relevante que o aluno saiba que as dificuldades enfrentadas pela comunidade científica para romper com teorias vigentes são de natureza similar às dificuldades pelas quais terá que passar para transformar suas pré-concepções a respeito do mundo físico no saber da Ciência oficial. É necessário, além disso, que o aluno não transfira para o professor a incumbência desta transformação.

Por outro lado, a escola não dispõe do tempo nem das condições culturais da história. Não concordamos em abandonar os alunos na louca estrada da autodescoberta. Cabe ao professor criar situações nas quais os estudantes possam realizar mudanças conceituais.

Uma primeira fase da nossa atuação didática passa sempre pelo levantamento das idéias anteriores à intervenção didática do professor. Esta fase de explicitação de idéias é feita individualmente ou em pequenos grupos. Em seguida, essas idéias são comparadas entre si e seus aspectos principais são analisados pelos alunos para uma posterior avaliação das mudanças ocorridas após a aprendizagem.

A fase seguinte é a de reestruturação das idéias iniciais. Para isto, há algumas estratégias que podem ser seguidas de acordo com a situação (DRIVER, 1988; VILLANI, 1990 e ELKANA, 1970). Entre elas, se encontram as seguintes:

- ☞ Explorar a capacidade que as concepções espontâneas possuem de resolver problemas, valorizando-as.
- ☞ Confrontar as idéias dos estudantes com contra-exemplos ligados ao cotidiano, com o objetivo de promover insatisfação em relação às concepções iniciais. Estamos prevenidos, no entanto, para o fato de que isso pode não ocorrer, uma vez que o dado, seja teórico ou experimental, muitas vezes é deformado pelo sujeito, podendo até tornar aquilo que o professor considerava um contra-exemplo numa confirmação das pré-concepções.
- ☞ Apresentar a concepção da Ciência oficial que se quer ensinar, mostrando sua maior capacidade de aplicação e generalização.

Com estes passos vive-se, numa visão instrumentalista, uma analogia ao desenvolvimento científico que pretende resolver problemas através de teorias cada vez mais eficientes. Tal desenvolvimento pode dar-se a partir das teorias vigentes ampliadas com modificações sucessivas não radicais ou pela adoção de novas teorias diferentes, e, desde o início, alternativas às anteriores.

Em seguida, podem ser utilizadas as estratégias abaixo relacionadas:

- ☞ Apresentar historicamente dúvidas ou concepções similares às levantadas na fase de explicitação de idéias, pedindo aos alunos para se situarem no texto apresentado.
- ☞ Seguir as discussões entre grandes cientistas que viam um mesmo fenômeno sob óticas diferentes,

e assim contribuíram com capítulos importantes da História da Ciência (ELKANA, 1970).

- ☞ Mostrar aos estudantes, através da Filosofia e da História da Ciência, a natureza aberta da Ciência e dos métodos com os quais se pode desenvolvê-la.

A fase final consiste numa reflexão sobre a mudança conceitual. Nela se discute com os estudantes o processo pelo qual passaram, levantando-se semelhanças e diferenças entre seu conhecimento anterior e o atual, e vantagens das mudanças vivenciadas. Tal fase tem sido chamada de metacognição.

Durante todo este processo de aprendizagem é importante considerar ainda dois pontos:

A instituição escolar possui um papel poderoso na vida do aluno e na sociedade em geral. Como diz VILLANI (1990), para que se explore a analogia entre mudança conceitual científica e aprendizagem escolar é necessário que haja nesta última uma ressonância entre o fim institucional e a resolução de problemas intelectuais. O fato de ser aprovado, de ter sucesso na escola, de tirar uma boa nota é o que mais importa à maioria dos alunos. Tal fato precisa ser relacionado à realização de mudanças conceituais, através de estratégias que procurem avaliar estas mudanças. Numa revolução científica, assim como uma teoria supera outra, entre outros motivos, pelo seu maior poder de competir com a outra na resolução de um número maior de problemas, somente problemas que ameçam diretamente a capacidade do aluno de alcançar o fim proposto (quase sempre associado ao fim institucional) podem levar a uma mudança conceitual.

Ainda citando Villani:

"Como consequência parece poder-se hipotizar que o aprendiz será envolvido num processo de mudança conceitual, que exige um esforço intelectual extremamente complexo, somente se a tarefa escolar exigir a exploração sistemática das potencialidades do novo esquema a ser aprendido e uma reflexão prolongada sobre seus pressupostos" (VILLANI, 1990).

O segundo ponto refere-se à maneira como cada aluno sente as mudanças conceituais. Para muitos, abandonar uma concepção antes de amadurecer outra traz a sensação desconfortável de mergulhar num vazio. Tal sentimento pode ser uma das

causas da persistência das concepções alternativas. Para compreender melhor estas situações, temos desenvolvido uma pesquisa em conjunto com o Departamento de Psicologia da UFF (DIBAR-URE, ARAÚJO e QUEIROZ, 1990).

Especificadas as formas de atuação didática que caracterizam nossa abordagem construtivista para o ensino de ciências, passamos, a seguir, a descrever como a História da Ciência tem sido introduzida nesse ensino.

A história da ciência numa abordagem construtivista de ensino de ciências

Segundo a ótica construtivista que nos norteia são introduzidas no ensino a História e a Filosofia da Ciência de modo a trazer uma visão de Ciência enquanto produto complexo de uma construção humana, resultante de discussões, controvérsias e debates.

A seguir comentamos algumas atividades de ensino realizadas pelo Grupo de Pesquisa em Ensino de Física da UFF, nas quais o acompanhamento de processos vividos na História da Ciência tem possibilitado aos professores uma melhor compreensão das pré-concepções dos alunos e, de maneira geral, do próprio processo de ensino-aprendizagem. Aos alunos possibilita-se um melhor conhecimento físico tanto nas suas características intrínsecas como nos processos pelos quais ele é gerado (ROBILOTTA, 1988).

Física no 3º grau: controvérsia *vis viva - momentum*

A controvérsia *vis viva - momentum*, levantada por LEIBNIZ (1686, p. 119-121) numa breve nota publicada nos *Acta Eruditorum* trata de decidir que grandeza física deveria ser usada para medir a eficácia da "força de um corpo em movimento". Na interpretação cartesiana da dinâmica, força era interpretada como medida pela quantidade de movimento. Para Leibniz esta associação da força com a quantidade de movimento era distorcida, sendo a quantidade mv^2 (*vis viva*) a verdadeira medida da força (LINDSAY, 1975, p. 108-118).

Estudar esta controvérsia, de uma forma mais detalhada que a realizada por CARVALHO (1989, p. 22-26), nos ajudou a avaliar a complexidade dos conceitos de energia cinética (nome adquirido pela metade da *vis viva*, a partir do séc. XIX) e de

quantidade de movimento. Tomando-a como referência desenvolvemos uma atividade didática para alunos de Física básica da Universidade.

Apresentamos primeiramente a controvérsia sob o ponto de vista da história e a seguir sob o ponto de vista didático.

Descartes ao analisar o movimento nos fala:

"...parece evidente que ninguém a não ser Deus, através da Sua Onipotência, criou matéria com movimento e repouso nas suas partes, e Quem daí por diante conserva no universo através de Suas operações ordinárias tanto movimento e repouso quanto ele colocou no universo na sua primeira criação. Enquanto seja verdade que movimento é somente comportamento da matéria que é movida, há uma quantidade dele que nunca aumenta nem diminui, embora haja algumas vezes mais e algumas vezes menos em alguma de suas partes; é por esta razão que quando uma parte da matéria se move duas vezes mais rapidamente que outra, e esta outra parte é duas vezes maior que a primeira, temos o direito de pensar que há tanto movimento no corpo menor como no maior, e que toda vez que e tanto quanto uma parte diminui a outra aumenta proporcionalmente" (DESCARTES, 1644, p. 97-98)

Da conservação da quantidade total de movimento Descartes e seus seguidores concluíram que a força como causa da mudança do movimento devia ser apropriadamente medida pela mudança da quantidade de movimento.

Em 1686 tem início a controvérsia propriamente dita, quando Leibniz tenta mostrar a não equivalência entre a força motora (força do corpo em movimento) e a quantidade de movimento. Para mostrar a diferença entre elas Leibniz faz duas suposições:

"...primeiramente assumo que um corpo caindo de uma certa altura adquire uma força suficiente para elevá-lo de novo àquela altura, se sua direção assim o leva e não há impedimentos externos... Em segundo lugar eu assumo que tanto trabalho é requerido para levantar um corpo *A* de uma libra a uma altura *CD* de 4 varas quanto para levantar um corpo *B* de 4 libras a uma altura *EF* de uma vara (ver figura). Estas suposições são aceitas como válidas pelos cartesianos e outros filósofos e matemáticos do nosso tempo". (LEIBNIZ, 1686, p. 119)

Dentro da visão atual da Mecânica Clássica o que Leibniz fez foi analisar, tal como Descartes, situações de choque. Ele estudou o choque dos corpos *A* e *B* contra a Terra. Nesse sentido, sua primeira suposição contém, além da ausência de atrito, a consideração que hoje fazemos ao tratar choques como totalmente elásticos, isto é, choques onde a energia cinética antes e depois do choque é a mesma.

Leibniz segue argumentando:

"...na queda de uma altura *CD* o corpo *A* adquirirá exatamente tanta força quanto o corpo *B* adquire na queda da altura *EF*. Após sua queda de *C*, o corpo *A* alcança *D*. Lá, pela suposição 1, ele tem força suficiente para elevá-lo de volta a *C*, isto é uma força suficiente para elevar uma massa de uma libra a uma altura de 4 varas. Similarmente após sua queda de *E*, o corpo *B* alcança *F*, onde, pela suposição 1 ele tem força suficiente para levantá-lo outra vez até *E*, isto é, uma força suficiente para levantar uma massa de 4 libras a uma altura de 1 vara. Então, pela suposição 2, a força do corpo *A* na posição *D* e a força do corpo *B* na posição *F* são iguais". (LEIBNIZ, 1686, p. 119-120)

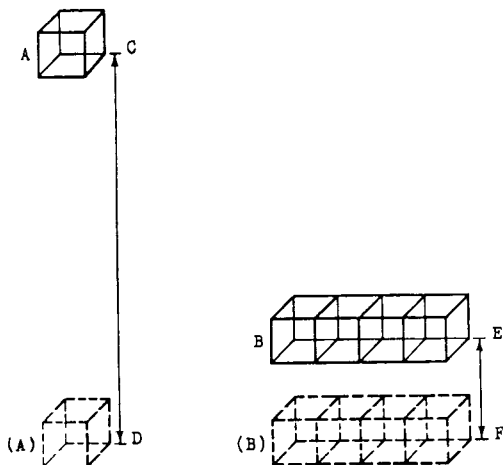


Figura 4

Usando uma nomenclatura de hoje se poderia escrever:

$$\frac{h_A m_A}{h_B m_B} = \frac{F_A}{F_B} = 1 \quad \left(\frac{4 \times 1}{1 \times 4} = 1 \right)$$

Leibniz, em seguida, mostra que a quantidade de movimento é diferente nos dois corpos:

"Foi demonstrado por Galileo que a velocidade adquirida na queda através de *CD* é duas vezes a velocidade adquirida na queda através de *EF*. Então multipliquemos a massa do corpo *A*, que é 1, pela velocidade adquirida por ele, que pode ser tomada como 2; o produto ou a quantidade de movimento será 2. Então, multipliquemos a massa do corpo *B*, que é 4, por sua velocidade, que é 1. O produto ou a quantidade de movimento recebida por *B* é portanto 4. Então, a quantidade de movimento do corpo *A* na posição *D* é somente metade da do corpo *B* na posição *F*. Entretanto anteriormente já havíamos achado que as forças de ambos eram iguais." (LEIBNIZ, 1686, p. 120)

Com isso Leibniz procura mostrar que há uma discrepância entre a *vis motrix* (força do movimento) e a quantidade de movimento. Portanto, a quantidade de movimento não é a medida apropriada da força. Novamente, usando a nomenclatura de hoje temos:

$$\frac{m_A v_A}{m_B v_B} = \frac{F_A}{F_B} = 1$$

Leibniz defende que a medida apropriada da força não é o *momentum* mv , mas a quantidade dada pelo produto da massa pela velocidade do quadrado mv^2 . De fato, no caso estudado por ele tem-se:

$$\frac{m_A v_A^2}{m_B v_B^2} = \frac{F_A}{F_B} = 1 \quad \left(\frac{1 \times 2^2}{4 \times 1^2} = 1 \right)$$

A quantidade mv^2 era conhecida como *vis viva* ou força viva associada ao movimento, distinta da *vis mortua*, ou força morta da estática (LINDSAY, 1975, p. 108-118).

Vale acrescentar que Leibniz tem ainda indissociados os conceitos de força, trabalho e energia.

Assim, enquanto na visão de Descartes, força era algo que possibilitava ao corpo mudar seu *momentum*, Leibniz defendia que força era alguma coisa inerente ao corpo que o capacitava a realizar trabalho (embora não usasse essa terminologia).

Estava inaugurada nesse momento a controversia quantidade de movimento - *vis viva* que se arrastaria por décadas.

No seu *Traité de Dynamique* (1743, p. 135-138) D'ALEMBERT oferece uma saída para esta controvérsia, apontando para o fato de os pontos de vista de Descartes e Leibniz serem conflitantes apenas na aparência, podendo ser reconciliados através de definições apropriadas: o conceito de força de Descartes envolve a suposição de que a eficácia de uma força é medida pelo seu efeito ao longo do tempo e o conceito de força de Leibniz mede esta eficácia pelo seu efeito ao longo do espaço ou, em outras palavras, pelo efeito cumulativo da força numa distância. Estas duas idéias hoje são expressas pelas integrais da força no tempo e no espaço respectivamente:

$$\int_{t_0}^{t_1} F dt = (mv)_1 - (mv)_0$$

$$\int_{x_0}^{x_1} F dx = \left(\frac{1}{2} mv^2\right)_1 - \left(\frac{1}{2} mv^2\right)_0$$

onde m é a massa do corpo, v sua velocidade e F a força que atua sobre o corpo.

Mostramos a seguir como D'Alembert argumentou de modo a chegar a tal conclusão. Inicialmente comenta:

"Por trinta anos, matemáticos tiveram suas opiniões divididas quanto a considerar a força de um corpo em movimento proporcional ao produto da massa pela velocidade, ou ao produto da massa pelo quadrado da velocidade; por exemplo, se um corpo duas vezes maior que um outro, e que tem uma velocidade três vezes maior, terá uma força dezoito vezes ou somente seis vezes maior." (D'ALEMBERT, 1743, p. 135)

Para desenvolver seu raciocínio D'Alembert exclui logo de início a idéia de força como uma grandeza inerente aos corpos em movimento e a concebe como:

"...a propriedade dos móveis pela qual eles vencem os obstáculos que encontram ou resistem a eles... Quanto maior o obstáculo que um corpo pode ultrapassar, ou que pode resistir, podemos dizer que maior é sua força, sem querer expressar com essa palavra uma hipotética entidade que reside no corpo e usando-a somente como uma

maneira abreviada de expressar um fato..." (D'ALEMBERT, 1743, p. 136)

Para chegar a medir a força tal como definida acima, ele classifica os obstáculos que se opõem ao movimento em três tipos:

"...obstáculos impenetráveis, que destroem inteiramente o movimento qualquer que ele seja; obstáculos que têm precisamente a resistência necessária para destruir o movimento do corpo, e que o destrói instantaneamente no caso do equilíbrio; ou finalmente obstáculos que destroem o movimento pouco a pouco no caso de movimento retardado." (D'ALEMBERT, 1743, p. 136).

Por interação com "obstáculos impenetráveis, capaz de destruir totalmente o movimento" estamos entendendo, na Física de hoje, um choque inelástico no qual toda a energia cinética é transformada em calor. Por exemplo, uma bola de massa de modelar arremessada contra uma parede rígida. Por isso D'Alembert afirma que este tipo de obstáculo não ajuda em nada a descobrir a força, uma vez que destrói igualmente toda e qualquer espécie de movimento (movimento de bolas de massas diferentes com velocidades diferentes).

Por interação com o segundo tipo de obstáculo, entendemos um choque elástico no qual corpos de massas iguais trocam velocidades, o alvo inicialmente em repouso sai com a velocidade da massa incidente e esta pára. Nas palavras de D'Alembert este caso é de equilíbrio e ocorre quando o produto de suas massas por suas velocidades virtuais, isto é, as velocidades com as quais eles tendem a se mover, são iguais. Assim, ele conclui que a quantidade de movimento pode, neste caso, representar a força.

Finalmente, por interação com obstáculos que destroem pouco a pouco o movimento, o próprio D'Alembert dá como exemplo um corpo que com uma certa velocidade comprime uma mola, tendo seu movimento retardado por ela. Neste caso, pode-se chegar a uma medida da força. Para isto ele argumenta:

"Todos concordam também que no movimento retardado o número de obstáculos ultrapassados é proporcional ao quadrado da velocidade; então, por exemplo, um corpo que comprimiu uma mola com uma certa velocidade, pode, com duas vezes essa velocidade, comprimir tudo de uma vez ou em sucessão não duas mas quatro molas como a primeira, nove molas com três vezes

a velocidade etc" (D'ALEMBERT, 1743, p. 137).

Por "número de obstáculos ultrapassados" D'Alembert está se referindo, no exemplo da mola, ao número de molas associadas em paralelo. Dessa forma, podemos compreender, com a Física de hoje, porque este número é proporcional ao quadrado da velocidade. Pelo teorema da energia cinética:

$$\Delta E_c = \int F dx$$

$$\frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} Kx^2$$

onde m é a massa de um corpo, v sua velocidade e x a deformação da mola. Portanto, ao dobrarmos a velocidade do corpo ele imprime a 4 molas em paralelo uma mesma deformação x :

$$\frac{1}{2} m(2v)^2 = 4 \left(\frac{1}{2} mv^2 \right) = 4 \left(\frac{1}{2} Kx^2 \right)$$

Este fato é uma evidência a favor da *vis viva*, isto é, a força do corpo é proporcional ao produto da sua massa pelo quadrado da sua velocidade.

D'Alembert põe um fim à controvérsia quando mostra que a quantidade de movimento também pode ser usada como medida da força no caso do "movimento retardado", desde que se meça esta força ao longo do tempo em vez de medi-la ao longo do espaço, o que havia conduzido à *vis viva*. Para isto ele sugere que no caso do "movimento retardado" a força seja medida não pela "quantidade absoluta de obstáculos", mas pela "soma de resistências desses mesmos obstáculos". Por "soma de resistências dos obstáculos" ele entende uma soma dos "produtos das resistências do obstáculo pela duração infinitamente pequena do instante em que ocorre o choque". Na linguagem de hoje $\int F dt$, e que na época já era identificada como a variação Δp da quantidade de movimento.

Com esta última abordagem ele permite que se trate o "movimento retardado" analogamente ao "movimento de equilíbrio" através da quantidade de movimento, desde que se integre a força no tempo. No entanto, ele não chega a expressar o fato de que o caso de "equilíbrio" poderia também ser tratado analogamente ao "movimento retardado" integrando-se a força no espaço, o que conduziria

à *vis viva*. Hoje vemos que se ele tivesse feito isso, não teria classificado os obstáculos de duas formas diferentes. O fato da deformação no caso do "equilíbrio" não ser visível deve ter sido a razão pela qual ele não chegou à identificação dos dois obstáculos.

A conclusão final de D'Alembert é que a controvérsia da medida apropriada da força é uma *simples* disputa sobre palavras, devidas essencialmente a uma confusão na terminologia, podendo os pontos de vista, aparentemente conflitantes, ser reconciliados através de definições apropriadas.

D'Alembert com esta conclusão adota uma posição epistemológica com a qual temos algumas divergências. Entendemos que o fato dele ter visto a necessidade de excluir de início a idéia de força inerente ao corpo foi essencial para poder analisar o "movimento retardado" considerando a força tanto ao longo do espaço como ao longo do tempo, uma vez que este espaço e este tempo são grandezas que se definem durante a interação com o obstáculo. Esta é uma questão de terminologia, mas as questões de definições apropriadas não são *simples*, pois envolvem mudanças a nível conceitual. Enquanto cartesianos e partidários de Leibniz tivessem a pretensão de fazer uma medida apropriada de uma força do corpo, não poderiam chegar a ver as novas grandezas definidas por mv^2 e mv como ligadas à força na distância e à força no tempo, respectivamente.

O fim desta controvérsia foi mais um passo dado no longo percurso das relações entre força e movimento que, vindo dos gregos passa pela teoria do ímpeto na Idade Média e chega até Newton. Vale lembrar que na sua definição III, Newton ainda fala de uma força inata da matéria ao se referir à inércia, apesar de diferenciá-la da força impressa que não permanece mais no corpo quando a ação exercida sobre o corpo acaba.

Desta forma, podemos entender porque a controvérsia durou tanto tempo na história (mesmo após o trabalho de D'Alembert as discussões prosseguiram) e porque nosso aluno apresenta dificuldades em relação a questões que envolvem energia cinética e quantidade de movimento. Daí, não julgamos conveniente introduzir estes conceitos através de simples definições, como fazem comumente os livros didáticos. Em vez disto, desenvolvemos uma unidade didática que a partir de questões exploratórias para levantamento de idéias alternativas e de experiências procura fazer com

que o estudante supere a concepção que ainda traz sobre força inerente ao corpo e entenda força como resultado de uma interação, avaliando-a ora em relação ao tempo, ora em relação ao espaço.

Uma das questões exploratórias usadas refere-se a dois carros que possuem massas e velocidades tais que um deles tem maior energia cinética e o outro tem maior quantidade de movimento. Assim, é possível mostrar que quando isoladamente se chocam contra uma mola, o de maior energia cinética causa maior deformação. Pergunta-se ao aluno: "ao se chocarem inelasticamente um contra o outro, quem arrasta quem?"

Frete a uma constatação experimental, a surpresa do aluno se dá pela observação de que o carro que foi capaz de deformar mais a mola é o que se deixa arrastar pelo outro. Esta surpresa está associada ao fato dele considerar a força como algo do corpo e assim esperar que o carro use esta força tanto para deformar uma mola quanto para arrastar o outro que demonstrou ter força inferior na deformação da mola.

Por demonstrações elementares de dinâmica, apresenta-se ao aluno resultados em que a força aparece, ora associada ao tempo, o que leva à conservação da quantidade de movimento no caso do choque entre os corpos, e ora associada ao espaço, no caso da compressão da mola, o que leva ao teorema da energia cinética.

Finalmente a História da Ciência que deu base a este planejamento didático é contada brevemente aos alunos a título de dar suporte às mudanças conceituais que eles têm que passar.

Maiores detalhes deste planejamento serão divulgados posteriormente num outro trabalho.

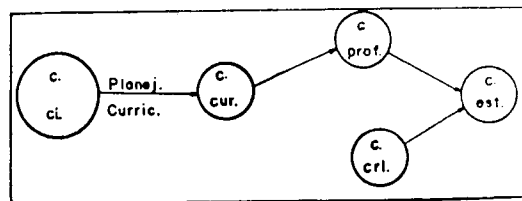
Física no 1º grau: integração da universidade ao ensino de 1º grau

As preocupações do grupo de pesquisa em Ensino de Física da UFF com as dificuldades de aprendizagem dos alunos universitários, principalmente calouros (DIBAR URE e QUEIROZ, 1981), levaram o interesse do grupo a uma interação direta com o ensino de Ciências no 1º grau. Esta interação vem acontecendo desde 1982 e se faz através de atividades de pesquisa e extensão.

A pesquisa na linha das concepções alternativas nos trouxe um quadro preocupante da situação deste ensino no nosso Estado, uma vez que constatamos com alta frequência concepções pré-

revolucionárias não só nos alunos como também numa parte significativa de professores de primeiro grau.

Tal fato não é surpreendente, pois, conhecendo-se o caráter pedagógico tradicional dos cursos que habilitam estes professores, não poderíamos mesmo esperar que pudessem ter realizado mudanças conceituais durante o período de sua formação. Assim, o professor leva para a sala de aula uma Ciência - "Ciência do Professor" - que conceitualmente pouco difere da "Ciência da Criança" dos seus alunos, sendo apenas rebuscada com uma nomenclatura que é usada para evitar aprofundamento e discussões "perigosas". Com isso, a "Ciência do Estudante" que resulta do processo da interação professor-aluno é ainda carregada de concepções alternativas, distante da Ciência dos cientistas.



Ciência curricular; C. Prof. - ciência dos professores; C. Cri. - ciência das crianças; C. est. - ciência dos estudantes

O mais grave disso tudo é o círculo vicioso que se instalou, no qual poucos profissionais assim formados serão cientistas ou mesmo passarão por uma Universidade, mas muitos serão novamente professores de 1º grau ou, o que é pior, elaboradores de livros (Ciência Curricular) que desta forma estabelecerão por escrito tais concepções.

Através do programa "Ciência Ativa na Escola", feito em conjunto com a Secretaria de Educação do Estado do Rio de Janeiro, realizamos cursos de extensão que levam aos professores de 1º grau e alunos universitários dos cursos de licenciatura resultados recentes da pesquisa em ensino de Física. Estes cursos prevêm a realização de planejamentos de atividades desenvolvidos com o apoio da Universidade.

Nesta interação com o ensino de 1º grau procuramos quebrar o círculo vicioso acima descrito, propiciando aos participantes vivências de

mudanças conceituais tanto em conteúdos específicos de Ciências (Física, Química, Biologia, Astronomia, Matemática) como na própria maneira de ensinar. Neste sentido a História e a Filosofia da Ciência têm contribuído em vários aspectos: apoio para mostrar o caráter aberto da Ciência; oportunidades de explorar interdisciplinarmente certos conteúdos, através da abordagem de aspectos humanos, sociais e culturais; apoio para mudar a concepção de "erro", percebendo-o como etapa da construção do conhecimento; base para discutir a variedade das teorias da Ciência e criticar a visão realista-empirista muito comum entre os professores etc.

Física Quântica: concepções de realidade e o ensino de Física

Nesta área nossa preocupação é a de proporcionar um conjunto de atividades que levem a uma tomada de consciência por parte dos alunos do curso de Física da variedade de versões sobre a construção e funcionamento da Ciência, tendo por base a questão da realidade devido à maneira "estranha" como ela se apresenta na Mecânica Quântica:

"Revoluções científicas são acompanhadas de mudanças das idéias básicas sobre a realidade. Na Revolução Quântica os físicos foram forçados a abandonar não apenas os conceitos do homem sobre a realidade, mas a própria realidade" (DAVIES, 1990).

Uma atividade preliminar (QUEIROZ e KRAPAS TEIXEIRA, 1990) consistiu na aplicação de um questionário escrito para evidenciar as concepções de realidade adotadas por calouros de Física. Este questionário foi capaz de provocar posicionamentos que foram discutidos numa dinâmica de grupo subsequente.

Diferentes concepções de realidade surgiram nas respostas dos alunos a questões sobre: existência, unicidade e apreensão da realidade; erro experimental; papel da teoria e da experiência na Ciência; "método científico" e critérios de demarcação entre Ciência e outras formas de conhecimento.

As respostas dos alunos foram interpretadas dentro da dicotomia sujeito-objeto. Isto é, as concepções de realidade foram categorizadas de acordo com os pesos dados à objetividade e à subjetividade, indo de um realismo ingênuo (peso no objeto) a um idealismo absoluto (peso no sujeito),

passando pelo que chamamos de realismo fraco, onde há uma tendência ao equilíbrio entre sujeito e objeto.

Observamos que as questões que se referiam a aspectos não explicitamente ligados à Ciência apresentaram posicionamentos filosóficos livres de compromissos com a atividade científica: o papel do objeto no conhecimento é amenizado enquanto o do sujeito é evidenciado. Por outro lado, as questões em que a Ciência aparecia fizeram inverter os papéis do sujeito e do objeto, mostrando o *status* que a Ciência ocupa na sociedade como detentora de métodos e técnicas para atingir a verdade.

Durante a discussão feita após o questionário, os alunos começaram a entrar em contato com pontos de vista da Filosofia da Ciência contemporânea, a qual assistiu nas últimas décadas ao fracasso de todas as formas de justificacionismo ou verificacionismo. Esta discussão é importante mesmo no contexto da Física Clássica porque, iniciada no curso básico, pode começar a preparar os alunos para uma futura compreensão das questões da Mecânica Quântica. Dessa forma procuramos nos aproximar das discussões filosóficas sobre a "natureza estranha da realidade" realizadas, em número cada vez maior, nos meios de comunicação (HERBERT, 1985, p. 31-46; GRIBIN, 1984 e LESSA, 1989).

Em termos de pesquisa em Ensino de Física, essa entrada na Filosofia da Ciência nos ajudou a redimensionar as teorias construtivistas em que se baseiam nossas propostas didáticas.

Comentário final

No relato acima mostramos como a História e a Filosofia da Ciência têm sido empregadas no trabalho de pesquisa, ensino e extensão desenvolvido pelo grupo de pesquisa em Ensino de Física da UFF.

O estudo do desenvolvimento histórico dos conceitos científicos tem nos propiciado tanto uma melhor compreensão das concepções alternativas apresentadas pelos estudantes como uma fonte de inspiração para desenvolver estratégias de ensino nas quais mudanças conceituais inerentes às revoluções científicas possam ser vividas pelos alunos.

Também recorremos a discussões recentes em Filosofia da Ciência para sustentar uma abordagem construtivista para o ensino de Ciências em oposição a uma visão calcada no positivismo clássico.

Este tipo de trabalho tem ultrapassado os muros da Universidade, chegando através de atividades

de extensão a professores de primeiro e segundo graus. Deste modo, além de cumprir este importante papel social, a universidade tem podido atualizar seus cursos de licenciatura em função da demanda da escola básica.

Nossa preocupação com o pensamento científico, com sua decorrente aplicação ao ensino, não se limita

ao estudo da sua história, mas chega até os dias de hoje. Assim o estudo sobre a questão da realidade, devido à maneira "estranha" como ela se apresenta na mecânica quântica, tem nos obrigado a buscar novas metodologias de ensino que façam emergir nos alunos o *novo espírito científico* de Bachelard, necessário ao conhecimento contemporâneo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, Björn e KÄRRQUIST, Christina. How Swedish pupils, aged 12-15 years, understand light and its properties. *European Journal of Science Education*, v.5, nº4, p. 387-402, 1983.
- CARRETERO, Mario. ¿Por qué flotan las cosas? El desarrollo del pensamiento hipotético-dedutivo y la enseñanza de las ciencias. *Infancia y Aprendizaje*, nº 8, p. 7-22, 1979.
- CARVALHO, Anna M. P. de. *Física: proposta para um ensino construtivista*. São Paulo: EPU, 1989.
- CLOSSET, J. L. Sequential reasoning in electricity. In: *Proceedings of the International workshop on Research in Physics Education*, La Londe des Maures, France, p. 313-319, 1983.
- DAWSON, Chris e ROWELL, Jack. Displacement of water: weight or volume? An examination of two conflict based teaching strategies. *Research in Science Education*, p. 69-77, 1984.
- D'ALEMBERT, Jean Le Rond. The *vis viva* controversy. In: MAGIE, W.F. (ed.) *A source book in Physics*. New York: Mac Graw-Hill Book Company, 1935. Extrato tirado do *Traité de Dynamique*, 1743.
- DAVIES, Paul. A revolução quântica. *Revista Superinteressante*, julho, 1990.
- DESCARTES, René. Conservation of Quantity of motion. *Principles of Philosophy*, part II, Section 36, 1644. In: LINDSAY, Robert B. (ed.) *Energy – historical development of the concept*. Stroudsburg: Dowden Hutchinson & Ross, 1975.
- DIBAR URE, Maria C.; ARAÚJO, Anelize e QUEIROZ, Glória. Entraves no processo de aprendizagem da física básica. *Cadernos do ICHF*, nº 24, p. 1-28, 1990.
- DRIVER, Rosalind; GUESNE, Edith e TIBERGHEN, Andrée. *Children's ideas in Science*. London: Open University Press, 1985.
- DRIVER, R. Un enfoque constructivista para el desarrollo del Currículo en Ciencias. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, v.6, nº 2, p. 109-120, 1988.
- ELKANA, Yehuda. Science, Philosophy of Science and Science Teaching. *Educational Philosophy & Theory*, nº 2, p. 15-35, 1970.
- ÉVORA, Fátima R.R. A Revolução copernicana-galileana. *Coleção CLE*, Campinas, v. 3 e 4. 1988.
- FRANKLIN, Allan. Principle of inertia in the middle ages. *American Journal of Physics*, v. 44, nº 6, p. 529-545, 1976.
- GRIBBIN, John. À Procura do Gato de Schrödinger. Lisboa: Editorial Presença Ltda, 1988. Edição original: *In Search of Schrödinger's Cat*, 1984.
- HERBERT, Nick. *A realidade quântica*. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1989. Edição original: *Quantum Reality*, 1985.
- KRAPAS TEIXEIRA, Sonia. *Estudo das noções espontâneas acerca de fenômenos relativos à luz em alunos de 11-18 anos*. Dissertação de mestrado. FEUSP e IFUSP, 1982.
- _____. *A atribuição de causalidade na construção do conceito de peso*. Tese de doutorado, FEUSP, 1989.
- LESSA, Bia. Entrevista no Programa Jô Soares, 11:30h na TVS-RJ referente à Física Quântica no teatro, 1989.

- LEIBNIZ, Gottfried W. von.** A brief demonstration of the memorable error of Descartes and others concerning of natural law according to which they claim that the same quantity of motion is always conserved by God, a law that they use incorrectly in mechanical problems, *Acta Eruditorum*, 1686. In: LINDSAY, Robert B. (ed.) *Energy — historical development of the concept*. Stroudsburg: Dowden Hutchinson & Ross, 1975.
- LINDSAY, Robert B.** *Energy — historical development of the concept*. Stroudsburg: Dowden Hutchinson & Ross, 1975.
- MARTINS, Roberto.** Tratados físicos de Blaise Pascal. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, v.2, nº 1, p. 7-168, 1989.
- MILLÔR, Fernandes.** Preconceito muito pra frente. *Jornal do Brasil*, p. 11, 26-01-90.
- NIELSON, Henry e THOMSER, Poul V.** *Ideas about force and moviment among danish university students and candidates*. Texto mimeografado.
- PFUNDT, Helga e DULT, Reinders.** *Bibliography-Student's Alternative Frameworks and Science Education*. Keil, IPN Reports-in-Brief, 1988.
- POSNER, George J. STRIKE, Kenneth A.; HEWSON, Peter W. e GERTZOG, William A.** Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, v. 66, nº 2, p. 211-227, 1982.
- QUEIROZ, G. e DIBAR URE, Maria C.** Uma experiência de Ensino de Física na 1ª cadeira básica na universidade. *Revista de Ensino de Física*, v.3, nº 4, p. 3-12, 1981.
- QUEIROZ, Glória.** *A persistência das concepções alternativas sobre pressão*. Comunicação apresentada na 38ª Reunião Anual da SBPC, 1986.
- QUEIROZ, Glória e AZEVEDO, Carlos A.** A Ciência alternativa do senso comum e o treinamento de professores. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 4, nº 1, p. 7-16, 1987.
- QUEIROZ, Glória e KRAPAS TEIXEIRA, Sonia.** *Concepções de realidade e o ensino das Físicas Clássica e Quântica*. Painel apresentado no III Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Porto Alegre, julho de 1990.
- ROBILOTTA, Manoel R.** *Construção & realidade no ensino de Física*. Material de apoio ao curso homônimo oferecido no VI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Niterói, UFF, IV-1 a IV-12, 1985.
- _____. O cinza, o branco e o preto - da relevância da História da Ciência no ensino da Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 5 (número especial): p. 7-22, jun de 1988.
- SALTIEL, Edith.** *Concepts cinématiques et raisonnements naturels: étude de la compréhension des changements de référentiels galiléens par les étudiants en sciences*. Tese de doutoramento, Paris VII, 1978.
- SARAIVA, João A. J.** *A Teoria de Piaget como sistema de referência para a compreensão da física intuitiva*. Dissertação de mestrado. IFUSP e FEUSP, 1986.
- SILVEIRA, Fernando L.** A Filosofia da Ciência de Karl Popper e suas implicações no ensino da Ciência. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 6, nº 2, p. 148-162, 1989.
- _____. *Uma Epistemologia Racional-Realista e o ensino da Física*. Tese de doutorado, PUCRGS, 1993.
- VIENNOT, Laurence.** *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Tese de doutorado, Universidade Paris VII, 1977.
- VILLANI, Alberto e PACCA, Jesuina L.A.** Student's spontaneous ideas about the speed of light. *International Journal of Science Educational*, v. 9, nº 1, p. 55-66, 1987.
- VILLANI, Alberto.** *Mudança conceitual no ensino de Física: objetivo ou utopia?* Palestra de abertura do III Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Porto Alegre, julho de 1990.
- ZYLBERSZTAJN, Arden.** Galileu - um cientista e varias versões. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 5 (volume especial), p. 36-48, 1988.
- _____. *Revoluções científicas e ciência normal na sala de aula*. Em: *Tópicos em ensino de ciências*. Porto Alegre: Sagra, 1991.

AGRADECIMENTOS

À abertura da área de pesquisa em História da Ciência por esta oportunidade de interação com a área de pesquisa em Ensino de Física; ao Professor Luiz Alberto Guimarães do IF/UFF pelas discussões que levaram à atividade utilizando a controvérsia *vis viva-momentum*; à Professora Márcia Motta Pimenta Velloso do IF/UFF pela participação no trabalho junto ao Ensino de 1º grau; ao Professor José Glauco Tostes do IQ/UFF pelas discussões relativas à Filosofia da Mecânica Quântica.

GLÓRIA PESSÔA QUEIROZ e SONIA KRAPAS TEIXEIRA são Professoras Adjuntas do Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense
Endereço: Instituto de Física da UFF - Outeiro de São João Batista s/ nº - 24.020 - Niterói - RJ

Revista da SBHC, n. 8, p. 31-46, 1992