

Uma interpretação para dificuldades enfrentadas pelos estudantes em um laboratório didático de Física

(An interpretation for difficulties faced by the students in a physics laboratory)

Fábio Marineli¹ e Jesuína Lopes de Almeida Pacca²

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

Recebido em 11/4/2006; Aceito em 4/7/2006

Utilizando uma abordagem da sociologia, apresentamos neste trabalho uma interpretação para dificuldades e erros apresentados por estudantes em atividades programadas num laboratório didático. O entendimento de conceitos típicos de uma aula de laboratório, como medida, incerteza, flutuação etc., é analisado a partir de material escrito por estudantes, seus exercícios e relatórios. Consideramos que os erros e as dificuldades apresentados pelos estudantes no trabalho no laboratório devem-se a uma concepção de senso comum relativa à Física e à realidade que ela representa e descreve. A Ciência é definida dentro de uma esfera de realidade diferente daquela considerada cotidianamente e, dentro da esfera científica, os conceitos de medida precisam respeitar critérios adequados e concebidos cientificamente.

Palavras-chave: concepções de medida, laboratório didático, Ciência e realidade.

Making use of a sociological approach we present in this paper an interpretation for difficulties and mistakes shown by students during programmed activities in a laboratory class. The understanding of typical laboratory concepts such as measurement, uncertainty, fluctuation etc., is analyzed from the written material produced by students, their exercises and reports. We consider that errors and difficulties shown by students in laboratory work originate from a common sense conception concerning physics and the reality it describes and represents. Science is defined within a reality sphere that is different from that considered in everyday life and, inside the scientific sphere, measurement concepts should respect adequate criteria that are established scientifically.

Keywords: measurement conceptions, laboratory class, science and reality.

1. Introdução

O laboratório didático é considerado, hoje em dia, peça-chave no aprendizado da Física. Mas não é de hoje que as atividades experimentais assumiram um caráter de importância no ensino de Ciências. No entanto, os estudos dos diversos aspectos relacionados à experimentação ainda se mostram importantes, uma vez que algumas das dificuldades dos estudantes no laboratório didático, bem como os efeitos dessa atividade, permanecem ainda sem uma definição clara. Segundo Villani e Carvalho [1], p. 75:

Apesar de estarem convencidos da importância das atividades experimentais, os docentes que as utilizam abundantemente em sua prática didática têm consciência de que a experimentação está longe de constituir a panaceia para o ensino de Física; a aprendizagem dos estudantes parece sujeita a limitações e ambigüidades, que tornam o

problema digno de ser analisado mais cuidadosamente.

Apresentamos aqui uma interpretação para as dificuldades enfrentadas por estudantes em atividades no laboratório didático, procurando uma compreensão que extrapola a simples atribuição de displicência ou dificuldades com os cálculos. Para tanto, fizemos um levantamento de algumas representações dos estudantes relacionadas às medidas e aos cálculos de grandezas físicas, que são objeto do laboratório didático em geral, e estabelecemos relações e conexões com elementos relacionados a representações de realidade, usando para essa concepção de realidade uma abordagem da sociologia. Essa possibilidade de propor explicações e interpretações para os resultados encontrados pode, a nosso ver, responder a algumas questões ligadas àquelas dificuldades com o conteúdo de Física que envolvem uma medição e a representação de uma grandeza.

O laboratório didático deve ter uma relação estreita com o que se entende por Ciência e realidade e esse é

¹E-mail: marineli@if.usp.br.

²E-mail: jesuina@if.usp.br.

o espaço escolar onde são estudados conteúdos experimentalmente. O acesso aos fenômenos e aos conceitos envolvidos se concretiza nas medidas das características físicas relevantes e de variáveis significativas já definidas por teorias e modelos bem estabelecidos pela Ciência. Além disso, no laboratório os estudantes podem ter a oportunidade de interagir mais intensamente entre si e com o professor, discutir diferentes pontos de vista, propor estratégias de ação, manipular instrumentos, formular hipóteses, prever resultados, confrontar previsões com resultados experimentais etc., e, ora uns ora outros desses aspectos, podem ser valorizados nas atividades.

Diferente das aulas teóricas de Física, no laboratório didático está presente o referencial empírico, aquilo que é real, organizado especificamente para a experimentação, de forma a permitir o estudo dos fenômenos [2]. Assim, no laboratório se trabalha, de alguma forma, uma relação entre conteúdos teóricos e o referencial empírico. Essa relação, ou melhor, a adequação entre essas esferas, segundo Cudmani e Sandoval [3], se dá, entre outras coisas, através da análise dos erros experimentais, que permite, inclusive, quantificar essa adequação. Para essas autoras, “os hiatos entre os fatos e as conceituações científicas reconhecem na análise dos erros experimentais um critério importante de verdade factual, um critério que permite quantificar a adequação à *realidade* dos conceitos, modelos e hipóteses científicas” (grifo nosso).

Em relação ao termo *realidade*, consideramos que tem o sentido de “referencial empírico”, tal como o entendido por Séré; no presente trabalho, utilizaremos o termo “realidade” em outro sentido, que será explicitado no item seguinte.

Sobre a questão apontada acima na citação de Cudmani e Sandoval, há mais elementos além desse apontado que poderiam ser considerados como relevantes nessa questão da adequação entre as esferas empírica e teórica, a adequação não se restringe somente à teoria de erros. Mesmo porque, essa adequação está relacionada a um dado modelo, dentro do marco de uma dada teoria, com o referencial empírico. Mas, mesmo assim, consideramos que o papel da análise dos erros experimentais enquanto elemento de adequação é o ponto mais relevante para o presente trabalho.

As dificuldades dos estudantes no trabalho com a análise dos erros experimentais, nesse campo de adequação entre duas esferas distintas, podem estar relacionadas, além dos problemas intrínsecos da própria análise de erros - conteúdo geralmente novo para os estudantes e de difícil compreensão -, ao entendimento da relação entre teoria e referencial empírico, isto é, ao significado de uma teoria naquilo que ela é capaz de dar conta dos fenômenos reais ou, ainda, ao grau de proximidade entre teoria e mundo real. Esta dificuldade não pode ser associada diretamente e nem exclusivamente a erros experimentais mal representados ou incoerentemente apresentados, apesar de ter nesses

elementos mais um fator relevante, principalmente num contexto de laboratório didático de Física.

E, dentro dessa relação mais ampla em que queremos trabalhar, cabe pensarmos em como a Ciência define uma realidade, bem como também nos diferentes sentidos atribuídos a esse termo. Será que podemos considerá-lo livre de problemas? Qual a relação entre o conhecimento da Física e a realidade? Qual a relação entre o que se mede no laboratório e a realidade concebida e vivenciada pelos sujeitos?

2. Ciência e realidade

Podemos, inicialmente, considerar a Ciência como uma forma de conceber o mundo, diferente da perspectiva tomada cotidianamente. O que reforça essa idéia é que se a Ciência fosse mera extensão do cotidiano, se não houvesse ruptura em algum sentido, não haveria, por exemplo, aquilo que chamamos “concepções alternativas” [4], tão difundidas principalmente entre os não especialistas.

Como exemplo dessa perspectiva diferente, na concepção científica a matéria passa a ser vista como composta, principalmente, por espaço vazio; ou mesmo a Terra, normalmente vista como o chão em relação ao qual nos movimentamos, passa a ser considerada como ativa e em constante movimento [5]. E, dessa forma, a própria “realidade” será vista numa outra perspectiva. À medida que tomamos campos diversos do conhecimento, o termo *realidade* passa a ter diferentes significações.

No entanto, o mundo cotidiano é geralmente tratado pelas pessoas como sendo “a” Realidade, concebida como única, imutável e permanente [6]. Mas tratar a realidade cotidiana como “a” Realidade ocorre quando não nos damos conta que na nossa compreensão há um componente construído, que a realidade não é dada diretamente, que as coisas passam a fazer parte da realidade quando são interpretadas e conceituadas. Se a realidade é aquilo que existe, ela é dependente da consciência de que algo existe e este algo é definido pela linguagem do ser consciente. Como exemplo disso, Pinheiro [7] cita os exemplos dos últimos planetas descobertos em nosso Sistema Solar, que antes de serem descobertos não “existiam” para as pessoas, pois elas não tinham consciência dos mesmos.

Isso não significa que esses planetas não existissem de fato, mas sim que para os seres humanos passaram a existir após sua descoberta, pois até então eram desconhecidos.

Outro exemplo de algo que só faz parte da realidade porque esta é interpretada e conceituada é o de um simples objeto como uma régua. Mesmo sendo um objeto concreto, que manipulamos e acessamos através de nossos sentidos, quando pensamos numa régua, podemos pensar num objeto específico, numa régua específica. No entanto, a régua, enquanto con-

ceito, faz parte da realidade somente após ser interpretada e conceituada.

Esta palavra não designa um único objeto, mas sim uma classe de objetos. Ela pode representar objetos de madeira, de metal, de plástico, que podem ser grandes ou pequenos, retilíneos ou curvos, como os utilizados por costureiras e alfaiates. A relevância da noção de classe nesta discussão é que ela envolve a percepção de semelhanças, sejam elas de forma, de uso ou outras, entre as várias réguas. Ou seja, existe uma idéia ou um conjunto de idéias por trás da palavra. Régua é um conceito. [...]

Todas as réguas que conhecemos são objetos compostos por subsistemas, sejam eles moléculas, átomos ou mesmo pedaços maiores. Se quebrarmos uma régua ao meio, cada pedaço ainda constitui uma régua? O que muda se quebrarmos cada metade novamente ao meio? Tudo isso mostra que existem abstrações importantes escondidas no substantivo régua [8]

Por tudo isso, percebemos que até os objetos mais corriqueiros, que manipulamos no dia-a-dia, possuem um componente de construção, que não é inerente a ele, e que o define dentro de um contexto específico.

Encontramos em Berger e Luckman [9] considerações sociológicas sobre a construção da realidade que nos parecem interessantes para o nosso problema com o laboratório didático. Esses autores defendem que possíveis definições para *realidade* e para *conhecimento* podem ser, respectivamente, “qualidade pertencente a fenômenos que reconhecemos terem um ser independente de nossa própria volição” e “certeza de que os fenômenos são reais e possuem características específicas”.

Essas definições possuem íntima relação entre si e arriscamos dizer que a maioria das pessoas as consideraria boas definições, mesmo não fazendo nenhuma referência a uma dimensão ontológica.

Para esses autores, há um interesse sociológico nesses termos devido ao fato de sua relatividade social. Como exemplo disso, podemos pensar que o que é “real” para um monge tibetano pode não ser “real” para um homem de negócios ocidental. E para o conhecimento temos a mesma coisa. Esse exemplo reforça o que já foi dito, que esses termos - realidade e conhecimento - são definidos de acordo com contextos sociais específicos.

Mas até dentro de um mesmo contexto social podemos ter diferentes formulações do que seja realidade. As formulações teóricas da mesma - quer sejam científicas, filosóficas, mitológicas etc - podem definir a realidade em diferentes termos. E não esgotam o que é “real” para os membros de uma sociedade. As próprias concepções de senso comum, as adquiridas na

experiência cotidiana, representam, também, uma definição específica de realidade, interpretada pelos homens e subjetivamente dotada de sentido na medida em que forma um mundo coerente.

A coerência nos elementos presentes na vida cotidiana é um importante fator de definição de sua realidade. Caso não seja possível encontrar essa coerência em algum elemento, poderiam surgir dúvidas sobre o quanto ele seria real.

Como já dissemos anteriormente, entre as múltiplas realidades possíveis, a da vida cotidiana se apresenta, justamente, como “a Realidade” por excelência. Os fenômenos dessa esfera de realidade acham-se dispostas em padrões que parecem independentes da apreensão que temos deles. E são fenômenos que estão muito próximos, tanto no aqui como no agora, o que faz, muitas vezes, que sejam impossíveis de serem ignorados. Há também fenômenos não tão próximos espacial e temporalmente, o que faz com que a vida cotidiana seja experimentada em diferentes graus de aproximação e distância no espaço e no tempo. Algo que fizemos ontem, ou sabemos que está em outra cidade, ainda são coisas reais para nós. Mas aos acontecimentos do aqui e o agora temos acesso direto, o que os torna “mais reais”, pois a existência deles se mostra evidente.

Esse mundo não somente é tomado como realidade certa pelos membros de uma sociedade, mas, mais que isso, se origina do pensamento e da ação deles. Ou seja, ele não é formado por construções teóricas altamente elaboradas, mas é criado e reafirmado dia-a-dia por todos. E a palavra “todos” entra com o sentido de que a realidade da vida cotidiana é intersubjetiva, tão real para mim quanto para os outros. E por ser partilhada, ela é mais facilmente admitida como “a” realidade. Assim, podemos pensar que as concepções advindas daí são altamente “enraizadas”.

Dentro dessa perspectiva, esses autores afirmam que as demais “realidades” são consideradas como campos finitos de significação dentro da realidade dominante, a cotidiana, com significados e modos de experiência delimitados, e, depois de passar por eles, a consciência sempre volta à realidade dominante como se voltasse de uma excursão.

Esses campos finitos de significação caracterizam-se por desviar a consciência da realidade cotidiana. “Embora haja [...] deslocamentos de atenção *dentro* da vida cotidiana, o deslocamento para um campo finito de significação é muito mais radical”. Como exemplo disso, as experiências estéticas e religiosas são ricas em produzir transições dessa espécie. O sonho pode ser tomado como outro exemplo.

A Ciência pode ser considerada, também, como pertencente a uma esfera de realidade diferente da cotidiana. Apesar da mesma buscar uma visão única, coerente, que abarque tudo, essa busca não impede que ela acabe sendo mais uma ilha de coerência dentro da realidade cotidiana. Ou seja, disso tudo podemos pensar

que nossa visão de mundo não é única. Existem campos finitos, ilhas de coerência, dentro daquilo que consideramos a realidade do dia-a-dia. E esses nem sempre possuem coerência entre si.

Isso tudo gera um problema, o da interpretação da coexistência dessas realidades entre si e com a realidade cotidiana. E esse problema pode ser considerado mais de natureza ontológica. A questão que permanece é: como pode ser possível a existência de “múltiplas realidades”?

O conhecimento científico é uma construção social, como as outras formas de construção de conhecimentos, mas uma forma aperfeiçoada, mais significativamente, ao longo dos últimos séculos, que gera um modo coerente de conceber parte do mundo. E isso revela uma realidade diferente daquela do cotidiano, resultado de um processo de interpretação do mundo baseado em técnicas e métodos diferentes daqueles empregados no dia-a-dia. Não se trata, pois, quando se fala em *realidade*, de tratar sobre a realidade em si, como dimensão ontológica do mundo, mas sobre as atribuições possíveis de serem feitas sobre essa realidade [6].

Assim, fica mais claro o que foi dito anteriormente, que as coisas passam a existir, passam a fazer parte da realidade, quando são interpretadas e conceituadas. Isso não significa que um fenômeno não aconteça, que seja somente fruto de interpretação, mas sim que é possível se ter diferentes níveis de acesso a um mesmo fenômeno ou a uma entidade.

No caso da Ciência, os fenômenos tratados por ela também estão presentes no cotidiano e esses dois campos estão intimamente relacionados. Fenômenos naturais, presentes no dia-a-dia, como, por exemplo, raios durante uma tempestade, a própria tempestade, o Sol, as estrelas, as ondas do mar, são objetos de conhecimento da Ciência. No entanto, esses mesmos fenômenos podem se inserir em “diferentes realidades” ou, ainda, com outras formas de interpretação da realidade.

Disso tudo temos que a Ciência gera uma forma diferenciada de conceber o mundo, num certo nível de realidade. E esse nível não é o mesmo da realidade concebida no senso comum.

3. A pesquisa no laboratório didático de Física

Considerando que a Ciência gera uma forma diferenciada de conceber o mundo, diferente daquela do dia-a-dia, pensamos que é essencial para o aprendizado de Ciências uma mudança de critérios na forma de conceber fenômenos ou entidades. Assim, com essa mudança de critérios, passa-se a acessá-los a partir de uma outra perspectiva, o que define uma outra esfera de realidade.

Nesse sentido, entendemos que a atitude de estender as concepções advindas do cotidiano, adquiridas socialmente, para a esfera das atividades formais pode ser

causa de dificuldades enfrentadas pelos estudantes, inclusive (ou principalmente) em atividades num laboratório didático.

Essa hipótese que levantamos aqui surgiu, inicialmente, como uma preocupação em compreender os resultados inadequados do trabalho dos estudantes no laboratório de Física, além da simples atribuição de descuido com as medidas, de dificuldades com os cálculos envolvendo estatísticas ou de desconhecimento dos aparelhos de medida, como relatado em nosso trabalho anterior [10]. Na ocasião, fizemos um levantamento e análise das dificuldades com o tratamento e a interpretação dos dados obtidos através de medidas em experimentos programados. Isso se deu através de uma análise de material escrito por alunos, seus exercícios e relatórios, de duas turmas do ano de 2001 de uma disciplina de laboratório do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, disciplina essa que faz parte da grade curricular do curso de Licenciatura em Física da USP.

Todas as experiências programadas foram realizadas em equipe, que podiam ser diferentes a cada aula. No início das aulas o professor fazia uma exposição de alguns conceitos que seriam necessários, às vezes acompanhadas de exercícios, e também dava instruções sobre a experiência que seria realizada. Só então as equipes se reuniam e iniciavam a experiência.

No decorrer da disciplina foram utilizados aparelhos de medição como réguas, trenas, paquímetros e micrômetros, faiscadores (que permitem o registro da posição de um corpo em instantes determinados), sensores de posição acoplados a microcomputadores (que permitem registrar em determinados intervalos de tempo duas posições conhecidas), além de equipamentos como trilhos de ar (que permitem simular situações de movimento sem atrito).

Para a análise, a partir das informações coletadas nos registros escritos dos alunos, foram elaboradas categorias descritivas que delimitaram e caracterizaram a problemática focalizada: as medidas, as incertezas a elas atribuídas e os conceitos relacionados. Com isso foram encontrados resultados interessantes, que permitiram aprofundar nosso entendimento sobre as concepções dos alunos que estariam suportando os erros cometidos.

Com os resultados preliminares, sintetizamos naquele trabalho as questões e os conflitos presentes nas concepções dos alunos em três grupos: 1) com respeito à falta de critério para identificar o que era significativo nos dados; 2) com respeito à vinculação entre o instrumento de medida e o operador (sujeito que mede); e 3) com respeito à dificuldade de estabelecer vinculação entre os instrumentos de medida e o operador, com o objeto medido. Como conclusão, levantamos a hipótese de que para compreender as dificuldades encontradas precisávamos relacioná-las aos modos de pensar que dão conta de uma visão de mundo e de Ciência.

Acreditamos que a visão de senso comum a respeito da realidade e da Ciência que a descreve passa a ter conseqüências consideráveis para a aprendizagem da Física. Mais ainda, que os erros e as dificuldades enfrentadas pelos estudantes no trabalho no laboratório não são simplesmente falta de habilidades para lidar com os instrumentos e com as teorias estatísticas utilizadas nos cálculos, elas são mais fundamentais, devendo-se à concepção adotada da Física como uma ciência que estuda e modela a natureza.

Nesse sentido, propomos aqui avançar nessas questões, retomando o conteúdo dos registros dos alunos e analisando-o qualitativamente no que eles possam representar de concepção de realidade e da Ciência que descreve os fenômenos reais. Assim, as informações foram interpretadas como modos de operar com os conceitos e suas formalizações [11] e também como a compreensão que os alunos têm desses conteúdos.

4. A análise dos dados

Destacaremos aqui alguns dados obtidos do material escrito onde localizamos frases, retiradas de exercícios e relatórios de diferentes alunos no decorrer de toda a disciplina, que nos pareceram levar a uma possível interpretação de acordo com o que propomos.

Desse material identificamos algumas concepções e atitudes dos estudantes, que serão discutidas adiante, tais como: não conceberem que resultados de medidas flutuam; não incluírem a incerteza na apresentação e interpretação de uma medida; considerarem a interferência humana como fator que obscurece o acesso e o conhecimento de um fenômeno; utilizarem a teoria para validar resultados experimentais.

Para construir um quadro de análise das respostas consideradas inadequadas do ponto de vista da Física e avançar para uma interpretação, nos apoiamos em outras referências que possuem proximidade com a questão que pesquisamos. Séré *et al* [12] concluíram das suas pesquisas dentro de um laboratório didático que os estudantes não entendem a necessidade de fazer várias medidas e de calcular as incertezas; não distinguem erros sistemáticos de aleatórios; não compreendem e não conseguem explicar por que o resultado de muitas medidas pode ser melhor, mesmo concordando que deve ser. Dificuldades semelhantes foram encontradas por nós e serão discutidas a seguir. Na discussão tentaremos interpretar tais dificuldades atribuindo-as tanto a concepções de realidade que são impróprias para o caso como ao papel do experimentador no processo de medir.

Inicialmente, um ponto que nos chamou a atenção foi a dificuldade dos alunos em conceber que os resultados das medidas flutuam. Por exemplo, quando foi pedido para se fazer um comentário em relação à diferença obtida, num determinado experimento, entre o desvio padrão das medidas e a incerteza estimada (para uma medida), um aluno se expressou da seguinte forma:

Há grande diferença entre a incerteza estimada (1 cm) e o desvio padrão calculado (2,30 cm), basicamente devido à imprecisão do chute inicial. Não temos, ainda, uma idéia de grandeza da incerteza, falta-nos experiência.

Nessa frase, o termo “chute inicial” se refere à incerteza estimada. Aqui parece que o aluno não diferencia o valor e o significado de uma única medida do de um conjunto de medidas. Na concepção dele, apenas conhecendo bem o instrumento é possível se conhecer o que seria a “dispersão” desse conjunto, não estando claro o conceito de flutuação como algo inerente a um conjunto de medidas. Além disso, atribui ao experimentador a responsabilidade pela qualidade da medida, ao mesmo tempo que concorda ter errado na estimativa.

Enquanto na esfera cotidiana esse conceito - a flutuação - pode não ser necessário, dentro da Ciência é fundamental, uma vez que a incerteza faz parte de qualquer medição. E, nesse sentido, a flutuação enquanto não for interpretada e conceituada como algo inerente ao processo utilizado pelas ciências experimentais, fica sem sentido para o senso comum. Como a medição, tal como é feita pela Ciência, não é uma técnica comumente empregada no dia-a-dia, sua utilização acaba por revelar um nível diferente de acesso ao objeto ou fenômeno que está sendo medido; uma concepção de senso comum da Ciência, adquirida fora do âmbito científico não é suficiente, ou melhor, não fornece o arcabouço conceitual necessário para compreender como ela concebe a natureza.

Num outro exemplo, havia um experimento em que os alunos deveriam obter experimentalmente o período de oscilação de um pêndulo físico, comparando os resultados obtidos através de dois métodos de medida: um utilizando um microcomputador controlado por um contato elétrico e outro utilizando um cronômetro manual. Em seguida deveriam comparar os valores obtidos através dos dois métodos com a previsão teórica. Uma resposta encontrada dizia:

O valor experimental mais provável do período foi medido com o cronômetro e vale 1025 ± 6 ms. O valor concorda com a previsão teórica dentro das incertezas experimentais. O método usado não é adequado para medir pequenos intervalos de tempo, visto que mostrou uma alta flutuação dos valores experimentais.

Nesse caso, os alunos apresentaram como valor mais provável um resultado que veio de medidas com maior dispersão; qualificaram o método como inadequado devido às flutuações dos valores, o que parece indicar que a “flutuação” é algo negativo, que invalidaria, inclusive, o método utilizado; como se as flutuações, gerando resultados incertos, não devessem acontecer.

Isso, em nossa visão, revela uma transposição conceitual de uma esfera de realidade, a cotidiana, para outra, a científica, uma vez que os elementos conceituais do dia-a-dia não consideram a flutuação - termo definido e significativo para a Física - como inerente ao processo de se acessar um fenômeno ou objeto. Como apareceu no exemplo, a “flutuação” parece ter outro significado, uma vez que ela dificultaria indevidamente o conhecimento de algo com precisão.

Como corolário dessa compreensão errônea está uma outra dificuldade apresentada pelos estudantes nos trabalhos com laboratório: compreender a necessidade de representação e informação de uma incerteza para qualquer medida efetuada; isto é, essa necessidade só pode aparecer se for concebida uma flutuação inerente a qualquer conjunto de medidas físicas. Essa dificuldade se manteve presente durante todo o transcorrer da disciplina que estamos analisando, sendo grande o número de vezes em que valores das medições foram apresentados nos relatórios sem indicação de incertezas. Além disso, em alguns casos onde se interpretavam e avaliavam resultados experimentais, não eram levadas em conta as incertezas das medidas.

O exemplo a seguir é esclarecedor e parece apontar para essa hipótese: após analisar um gráfico de energia em função do quadrado da massa, um grupo escreveu:

Os coeficientes lineares representam o valor da respectiva energia quando a variável massa \times massa é nula (ou seja, quando a massa é nula), assim, temos (para massa = 0): energia potencial gravitacional = 0,0033, energia potencial elástica = 0,1864 e energia total ($U_t = U_g + 2.U_m$) = 0,03758.

Essa frase se refere a um gráfico de energia pela massa ao quadrado. Nela temos uma série de informações interessantes. Primeiro que, para esses alunos, parece não surpreender que exista energia potencial (que era o assunto do experimento) diferente de zero mesmo com a massa nula. Esse resultado seria satisfatório fisicamente se estivesse associado a uma estimativa da incerteza no valor da energia; essa, provavelmente, colocaria o valor zero dentro de um intervalo de valores possíveis e prováveis. No entanto, em todo o relatório não foi utilizada e nem feita nenhuma menção a incertezas, e acreditamos que essa consideração do valor da energia independente do da massa venha daí; fazendo as contas, utilizando somente os valores absolutos das medidas, eles chegaram a isso, sem necessidade de uma avaliação extra. A falta do conceito de incerteza com significado de uma realidade física e inerente a qualquer medida explicaria a resposta. No gráfico analisado por eles no experimento, foi traçada uma reta, mas não lhe foi atribuído significado físico, talvez, justamente, por faltarem as “incertezas” como critério de adequação entre o empírico (os dados) e o

modelo teórico (na ausência de massa haveria ausência de energia potencial).

Além disso, houve um erro na apresentação dos dados, pois a soma dos valores apresentados na frase, utilizando a expressão $U_t = U_g + 2U_m$ (onde U_t é a energia potencial total; U_g a energia potencial gravitacional e U_m a energia potencial da mola), não dá o valor indicado.

Outro exemplo:

E podemos ver que elas [as velocidades do objeto medido obtidas experimentalmente e teoricamente] são bem parecidas no início do movimento e que no final cometemos alguns erros, pois temos uma imprecisão na medida da distância e como os valores não são inteiros podemos ir carregando esses erros cada vez mais, esse método foi pouco eficaz contendo alguns erros.

Entendemos que o termo “inteiros” que aparece na frase tem o sentido de “exato”, o que reforça mais uma vez que as incertezas não são esperadas.

Esse grupo não calculou as incertezas e não poderiam, por isso, fazer comparações aceitáveis entre os resultados obtidos e a previsão teórica. Não são utilizados critérios objetivos representados pelas incertezas como fonte de informações para esse tipo de consideração. Preferem tratar por “imprecisão” e “erros do experimentador”, isto é, imperfeição do instrumento e do experimentador.

A ausência das incertezas acompanhando qualquer medida, bem como a idéia das flutuações como sendo algo negativo e imperfeito, pode estar ocorrendo devido a uma concepção de que é possível se ter acesso a um “valor verdadeiro” da grandeza mensurada, talvez com a mesma idéia do acesso aos objetos com que lidamos no dia-a-dia. Faltaria ou não estaria clara a idéia de que qualquer medição é apenas uma estimativa do valor de qualquer grandeza física. Em outras palavras, a realidade concebida pelo sujeito que mede parece ser a mesma concebida cotidianamente, havendo, portanto, um prolongamento das ações e concepções cotidianas para a esfera científica.

Uma outra concepção encontrada é a de que quanto mais intervenção do experimentador houver, pior será o resultado obtido. Falhas humanas são sempre invocadas quando o valor experimental obtido e a previsão teórica não concordam, como se pode observar pela expressão “cometemos alguns erros”.

A atribuição da diferença nos resultados esperados a “falhas humanas” aparece mais explicitamente no exemplo a seguir, que é uma explicação para o fato de que os valores obtidos com medidas com o computador e com medidas manuais para um mesmo fenômeno não concordam.

O valor obtido com o microcomputador é bastante preciso, o que não ocorre com os

valores obtidos com o cronômetro manual. Acredito que essa diferença se deu principalmente devido a quantidade de períodos (três) que utilizamos para obter o valor t_c [período obtido com o microcomputador], além do fato de que o cronômetro era disparado manualmente o que inclui um erro devido a 'falhas humanas'.

Aqui claramente não há separação entre o tempo de reação do experimentador e a incerteza inerente à medida feita. Parece que não ficou clara a necessidade de medir três períodos, porque um único período era muito pequeno para ser medida manualmente e acarretaria uma incerteza relativa maior.

A frase a seguir é bastante interessante deste ponto de vista:

A partir dos resultados obtidos, podemos verificar que a cronometragem manual, se aproxima da previsão teórica, enquanto os resultados do computador se afastam do valor teórico. Quando da realização do experimento, esperávamos encontrar valores mais perto do teórico com a utilização do computador, por considerá-lo um equipamento mais preciso, devido à menor interferência do homem, já que com o cronômetro são necessários os sentidos (visão e o reflexo) que poderiam aumentar a margem de erro, [mas] não foi o que aconteceu.

Aí fica explícita a questão da “interferência do homem”, mas o experimento foi capaz de mostrar a esses alunos que, mesmo assim, contrariando expectativas, o valor obtido “manualmente” não aumentou a “margem de erro”. Podemos avançar na nossa interpretação das dificuldades apontando também para uma confusão entre um erro aleatório e um erro sistemático; nos parece que a intervenção humana na concepção dos alunos seria fonte de erro sistemático e não aleatório. No entanto, nesse caso, o erro é essencialmente aleatório, porque corresponde à diferença entre o acionamento do cronômetro no início e no final da cronometragem, fazendo com que os tempos de reação se compensem. Portanto, os mais significativos seriam os erros aleatórios e não os sistemáticos.

Mas o que mais chama a atenção nesse tipo de consideração, relacionada à análise que estamos realizando, é a concepção da interferência humana como fator que obscurece o acesso e conhecimento do fenômeno. Nessa concepção parece estar faltando a compreensão adequada do significado de uma teoria física, parece não existir o componente de construção humana na explicação da realidade, como se ela pudesse ser dada diretamente. Essa idéia é certamente oriunda da esfera cotidiana, onde os fenômenos parecem ser independentes, parecem existir sem a intervenção humana; neste caso,

parecem trabalhar com a idéia de que quanto maior a intervenção do experimentador, pior para o resultado, como se ele pudesse ser encontrado sem qualquer intervenção.

As “falhas humanas” atribuídas à imprecisão das medidas estão muitas vezes relacionadas exclusivamente à “capacidade” ou “qualidade” dos medidores. O exemplo a seguir, que diz respeito à diferença entre o desvio padrão obtido e a incerteza estimada para uma medida, é significativo:

Os desvios padrão calculados na tabela, não são iguais à incerteza estimada (0,5 cm), devido às incertezas envolvidas (erros) não estarem ligadas ao fato de observar uma medida, mas sim, dependem da habilidade de cada aluno. Se os desvios padrão fossem iguais à metade da divisão da régua (no caso 0,5 cm), o aluno seria considerado um perito em medições.

Esse fato marcante para a qualidade de qualquer medida que apela para a capacidade dos medidores e falhas humanas, que apareceu em nossos dados, nos parece ligar-se ao entendimento e utilização da teoria para validar os resultados experimentais, ou seja, considerar como resultados certos, somente aqueles que estão de acordo com o modelo teórico, sem nenhum desvio.

Um exemplo encontra-se na seguinte frase:

Este método mostrou-se adequado para a descrição do regime transitório de um movimento com atrito viscoso. No entanto há uma propagação muito grande das incertezas. Apesar de obter uma função apta a descrever o movimento, seria precipitado concluir que a teoria foi comprovada neste caso, pois, como mostra o gráfico 4, o logaritmo da aceleração apresenta uma curva pouco homogênea, levantando dúvidas a respeito dos dados obtidos.

Aqui se mostra o caso em que a teoria é utilizada para validar o resultado experimental, mas com a ressalva explícita da alta incerteza não permitir se comprovar a teoria e que os próprios dados é que são os responsáveis. A inerência da incerteza à medida não é concebida. É dito que a “função [é] apta a descrever o movimento”, e não que a função descreve o movimento. O resultado obtido está sendo tratado como menos válido que uma previsão teórica do mesmo. E até dúvidas em relação aos dados estão sendo levantadas. A idéia aqui implícita parece ser a de que o modelo teórico pode ser utilizado para validar resultados experimentais, ou mesmo a concepção de que uma teoria científica tem como referencial o acesso direto ao mundo.

5. Considerações finais

Falamos anteriormente sobre a idéia de que uma medição fornece um “valor verdadeiro”. Associando-se a isso a concepção de que o conhecimento científico vem totalmente dos dados experimentais, chega-se à idéia de que esse conhecimento, suas teorias e modelos, são um retrato direto do mundo.

Dessa forma, é comum os alunos identificarem a teoria ou o modelo com o fenômeno em si, considerando que esse é totalmente apreendido por aqueles. E quanto melhor for a aproximação dos resultados obtidos com as previsões teóricas mais bem sucedido é o experimento que realizaram. Esta crença é tão forte que, mesmo diante da discordância do resultado com a previsão teórica, eles preferiam atribuir a si próprios a causa de algum erro ou diferença (as “falhas humanas” citadas anteriormente). É claro que uma não concordância pode ser causada pelo experimentador, mas o fato do modelo não ser o fenômeno em si certamente não estava sendo cogitado pelos alunos.

Há uma aparente ambigüidade em nossas afirmações, pois dissemos que os alunos consideram que as teorias têm como referencial direto o mundo, e que as discordâncias obtidas em medições são atribuídas a falhas do experimentador. Ao mesmo tempo, dissemos que concebem a possibilidade de se ter acesso a um “valor verdadeiro” da grandeza mensurada através da medição. No entanto, as falhas que atribuem ao experimentador são atribuídas a eles próprios, e não a outros “profissionais” (cientistas, no caso) que parecem ser capazes de acessar os fenômenos e, com eles, construir conhecimentos totalmente verdadeiros.

Iniciamos esse trabalho fazendo uma breve discussão sobre a Ciência, focalizada num contexto de sociologia, por considerarmos que a visão de mundo construído socialmente na vivência do sujeito é o pano de fundo para a leitura que ele faz dos fenômenos que são acessíveis cotidianamente; desse modo pudemos trazer respostas a algumas das questões levantadas por nós com relação ao laboratório didático de Física.

Da análise dos dados, percebemos algumas dificuldades enfrentadas pelos alunos, e consideramos que estão relacionadas, entre outras coisas, à concepção que possuem dos processos de medição, mas que estão especialmente relacionadas a uma concepção de Ciência e do acesso dessa a uma realidade. Assim, consideramos que dificuldades em conceber que medidas flutuam, em compreender a necessidade e o significado da incerteza de uma medida, em entender a relação entre teoria e dados experimentais etc., ligam-se, entre outras coisas, ao não entendimento dos critérios de definição de realidade utilizados pela Ciência e a forma pela qual são construídos seus conhecimentos. Ou seja, que a Ciência define uma esfera de realidade diferente daquela que tomamos cotidianamente, com critérios também diferentes.

Esses resultados apresentados nos motivam a avançar mais com esse trabalho, trazendo outros elementos para aprofundar o entendimento dessas questões. Com a discussão do que expusemos, consideramos que já temos elementos significativos para interpretarmos erros e dificuldades dos alunos em atividades de laboratório.

Os alunos possuem os critérios de determinação de realidade adquiridos socialmente. Como as demais pessoas, tratam a realidade cotidiana como algo independente de sua ação, e que existe em si mesma. Nesse trabalho tratamos do aspecto construído da realidade, mas aqui cabe uma distinção entre a ação de um indivíduo, que já chega a um mundo formado, e a totalidade dos homens, que em conjunto e ao longo dos anos teve um papel ativo na construção das “coisas”. Assim, para um indivíduo a régua é uma realidade dada, mas para a humanidade é um conceito construído; para o indivíduo perceber o componente construído da régua, há a necessidade de reflexão, nem sempre necessária no dia-a-dia.

Com os objetos da Ciência temos a mesma coisa, são geralmente tomados (e ensinados) como uma realidade dada, utilizando os mesmo critérios utilizados cotidianamente, o que acaba gerando dificuldades, como as que temos com os alunos no laboratório, quando são necessários outros critérios para se entender os processos envolvidos.

Por tudo isso, consideramos que os erros e as dificuldades enfrentadas pelos estudantes no trabalho no laboratório devem-se a uma concepção inadequada, de senso comum, relativa à Física como uma Ciência que estuda e modela a natureza. E isso pode ser mais forte do que as dificuldades com o formalismo estatístico para tratamento de dados, o que é comumente reforçado e valorizado no laboratório didático.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP e ao CNPq pelas bolsas e pelo incentivo à pesquisa.

Referências

- [1] A. Villani e L.O. Carvalho, *Rev. Bras. Ens. Fis.* **15**, n. 1 a 4 (1993).
- [2] M.G. Séré, S.M. Coelho e A.D. Nunes, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **20**, 30 (2003).
- [3] L.C. Cudmani e J.S. Sandoval, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **8**, 193 (1991).
- [4] J.A.F. Saraiva, *A Teoria de Piaget como Sistema de Referência para a Compreensão da “Física Intuitiva”*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.
- [5] I. Martins, J. Ogborn e K. Gunther, *Ensaio* **1**, 29 (1999).

- [6] M. Pietrocola, in *Ensino de Física: Conteúdo, Metodologia e Epistemologia Numa Concepção Integradora*, organizado por M. Pietrocola (Editora da UFSC, Florianópolis, 2001), cap. 1, p. 9-32.
- [7] T.F. Pinheiro, *Sentimento de Realidade, Afetividade e Cognição no Ensino de Ciências*. Tese de Doutorado em Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- [8] M.R. Robilotta, *Construção e Realidade no Ensino de Física*. Apostila da disciplina Construção e Realidade no Ensino de Física, oferecida no IFUSP no programa de pós-graduação interunidades em Ensino de Ciências, 2004.
- [9] P. Berger e T. Luckmann, *A Construção Social da Realidade: Tratado de Sociologia do Conhecimento* (Vozes, Petrópolis, 1983), 5ª ed.
- [10] F. Marineli, M.C. Oliveira, Z.O. Guimarães-Filho e J.L.A. Pacca, in *Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física*, organizado por N.M.D. Garcia (CEFET-PR, Curitiba, 2003), p. 1905-1920. CD-ROM.
- [11] J.L.A. Pacca e A. Villani, *Revista de Ensino de Física* **12**, 123 (1990).
- [12] M.G. Séré, R. Journeaux e C. Larcher, *Int. J. Sci. Educ.* **15**, 424 (1993).