

Investigações em Ensino de Ciências – V8(3), pp. 231-256, 2003

PROBLEMAS ABERTOS E SEUS PROBLEMAS NO LABORATÓRIO DE FÍSICA: UMA ALTERNATIVA DIALÉTICA QUE PASSA PELO DISCURSIVO MULTIVOCAL E UNIVOCAL

**(Open-ended problems and their problems in the physics laboratory: a dialectic alternative
that passes through the multivocal and univocal discourse)**

Carlos Eduardo Laburú[?] [laburu@uel.br]

Depto. de Física, Universidade Estadual de Londrina

CEP 86051-970, Cx.P.6001, Londrina, PR

Resumo

Este trabalho realiza uma análise crítica de uma proposta de investigação para as atividades de laboratório, originária de problemas abertos de lápis e papel, que vem sendo disseminada na literatura. Como alternativa, propõe-se uma metodologia de investigação que se sustenta não só no discursivo dialógico, mas que realça o papel do discurso univocal e da necessária integralidade entre as várias etapas dessa metodologia para que se alcance o objetivo pedagógico desta proposta metodológica.

Palavras-chave: Problemas abertos, método de investigação, laboratório de física, discurso.

Abstract

This work accomplishes a critical analysis of an investigation proposal for the experimental activities, originated from paper-and-pencil open-ended problems, which has been disseminated in the literature. As alternative, it is proposed an investigation methodology that is sustained not only in the dialogic discursive, but that enhances the role of the univocal speech and the necessary integrality among the several stages of that methodology, in order to reach the pedagogic objective of this methodological proposal.

Keywords: open-ended problems, research method, physics laboratory, discourse

Introdução

Na literatura especializada é possível constatar que as atividades de laboratório apresentam uma variedade de barreiras que dificultam a aprendizagem¹. Em grande parte das vezes essas barreiras aparecem, em razão de ficar implícita na atividade que aos estudantes deve caber a compreensão da natureza do problema, o procedimento experimental, a adoção da perspectiva teórica relevante relacionada com o tema em estudo, o acompanhamento da leitura e a assimilação das instruções do experimento, a compreensão, ou pelo menos, o manejo correto dos aparatos em questão (Hodson 1990). É necessário ainda que entendam ou que compartilhem os enunciados da base empírica subjacente a estes aparatos, que compilem e saibam processar os dados, que reconheçam a diferença entre os resultados obtidos e os esperados, que interpretem tais resultados (opus cit.) etc.. A intervenção largamente inconsciente desses elementos, durante o trabalho de laboratório, tem influência na decisão, na prática e no julgamento do aluno (Séré 2002: 630). Por outro lado, sabe-se que certas atividades de laboratório são perdas de tempo (Moreira 1980), sendo possível eliminar diversos passos menos importantes que servem, tão somente, para deixar os

[?] Com auxílio parcial da Fundação Araucária.

¹ Algumas dessas barreiras podem ser vistas, por exemplo, em Ryder & Leach (2000) e Sandoval (1990), além de outras que aqui discriminaremos.

estudantes perdidos em detalhes daquilo que estão fazendo, contribuindo para que esqueçam o que deve ser estudado (Kirschener 1992). Conseqüentemente, é fundamental que mais tempo seja dedicado à compreensão teórica para ajudar o aprendiz à “olhar” as observações que faz, como, também, mais tempo deve ser oportunizado à discussão, à avaliação e à interpretação dos resultados experimentais, do que à realização propriamente dita do experimento (Millar 1987: 115).

Inserida nas considerações precedentes, coloca-se em destaque o enfoque de ensino-aprendizagem denominado de investigação. Este enfoque, entre outros possíveis², em suas formas mais variadas (por exemplo, Driver 1983: 81; Wenham 1993; Gil & Castro 1996; Lianko 1999), vem justificando a sua difusão pela área de educação científica, em razão de acarretar variados benefícios educacionais específicos, tais como: o encorajamento e a iniciativa à imaginação individual (Driver 1983), a busca pela reflexão, para com o pensamento crítico, de modo a iniciar o estudante em julgamentos pessoais para que, com o tempo, possa atuar de maneira autônoma e cognitivamente independente, além de ajudar a promover a capacidade criativa, a gerar mudança de atitudes, conceituais e epistêmicas.

Todavia, no que diz respeito a este trabalho, estamos interessados em realizar uma reflexão crítica a respeito da metodologia de investigação baseada em problemas abertos de Gil et al. (1988), voltada às práticas do laboratório didático (Gil & Castro 1996). A ponderação que delinearemos surgiu de tentativas sistemáticas que fizemos para aplicar essa proposta em situação real de sala de aula e que mostraram diversas dificuldades, muitas delas, já previamente advertidas na literatura. Vimos que, da parte do professor, não há grandes problemas operacionais na aplicação da mesma, contudo, da parte do aluno, notamos obstáculos específicos de aprendizagem, que precisam ser superados, e que não são explicitados por aquela metodologia.

Com o objetivo de atentar o professor a respeito dos problemas por nós encontrados, pretendemos, primeiramente, destacar as dificuldades em operacionalizar pedagogicamente essa abordagem metodológica. Num segundo momento, para aquele professor que, por ventura, possa a vir a atentar para as mesmas dificuldades, procuramos sugerir um encaminhamento alternativo. Para isso, servimo-nos de um exemplo para o ensino da conhecida lei de Boyle-Mariotte, bastante testado por nós em sala de aula, que procura esclarecer essa alternativa.

É preciso salientar, antes de qualquer coisa, que não se está propondo uma nova atividade radicalmente contraposta à de Gil e outros investigadores com a mesma orientação (por exemplo, Lanciotti 1994; Pons 2000), mas se está a sugerir uma dinâmica distinta que realce ainda mais a interatividade do professor, que, por sua vez, é conseqüência dos enfoques conceituais que apresentaremos à frente. Talvez, as complicações por nós defrontadas sejam um problema de leitura ou interpretação da metodologia de Gil e demais pesquisadores, portanto, pode-se imaginar que esta última daria conta dos problemas que serão aqui levantados, não negando a dinâmica didática que se sugerirá. Todavia, na seção vindoura, faremos ver que a nossa abordagem diverge em fundamentos teóricos que sustentam o direcionamento pedagógico imprimido pelos referidos autores. No entanto, mesmo que se imagine que os nossos apontamentos estejam contemplados à luz da proposta de Gil e outros, ainda assim esperamos que este trabalho sirva para atentar os professores de pontos problemáticos daquela proposta e, principalmente, confiamos que estas reflexões sejam úteis para aqueles que, porventura, façam uma leitura semelhante à nossa.

² Por exemplo, o enfoque problemático de García (2000: 118b), o que envolve experimentos de pensamentos (Matthews 1994) etc..

Este trabalho encontra-se, então, dividido na seguinte seqüência. Após uma breve síntese da proposta de Gil e colaboradores, abordaremos, primeiramente, pontos teóricos de caráter geral, tais como, a questão do método científico no laboratório didático, a questão dos fundamentos epistemológicos e o ensino de laboratório, sendo este último conjugado a uma reflexão ligada ao processo discursivo e de aprendizagem significativa. A respeito destas questões, como dissemos, pensamos estar em dissonância com Gil e colaboradores e tentaremos explicitar tal divergência na segunda questão. Na continuação, passaremos a apresentar a nossa abordagem didática, apoiados nos pressupostos teóricos e no processo discursivo discutido. Nesse momento faremos ver em detalhes, e com um exemplo, as diferenças e as contraposições específicas entre as propostas, partindo dos problemas encontrados, na tentativa de praticar a orientação de Gil e outros.

Método de Investigação

A metodologia de investigação de Gil e colaboradores, toma como princípio a concepção de Bachelard de que “todo conhecimento é a resposta a um problema” (Gil et al. 1988: 131a). Por trás dessa proposição, os autores querem enfatizar que resolver problemas não significa um mero treinamento mecanicista do uso de fórmulas, de ações repetitivas, de algoritmos, onde o emprego, praticamente exclusivo da memória e de rituais de realização de exercícios semelhantes, se torna fator preponderante na aquisição do conhecimento. Pelo contrário, os autores entendem, por analogia à atividade científica, que um estudante quando enfrenta um verdadeiro problema, por conseguinte, quando se defronta com uma atividade de busca exploratória, em que se vê orientado numa situação de aplicação do método científico, ele necessariamente se envolve numa reflexão analítica mais intensa, o que além de favorecer uma redução drástica no fracasso de resolução de problemas, estimula esse estudante a ficar suscetível a alterar as suas atitudes metodológicas prévias (ibid.: 143b).

Assim, os trabalhos de Gil e colaboradores enfatizam a necessidade da implantação, em atividades de sala de aula, tanto teóricas como práticas, de um modelo didático que essencialmente se sustenta numa heurística baseada na metodologia científica³, a fim de que haja uma aprendizagem efetiva. Para eles, um modelo didático deveria, pois, focar a aprendizagem, não somente através de uma mudança conceitual, mas deveria essencialmente incorporar uma mudança metodológica. Chegam algumas vezes a afirmar que, sem uma mudança desta última, não pode haver a primeira (Gil 1986: 116). É possível notar, nesses trabalhos, uma expressiva defesa de aspectos fundamentais, em analogia à metodologia científica, que o estudante deve considerar, quando está defronte de uma situação *problemática aberta* de lápis e papel (Gil et al. 1988.). São elas:

I) Iniciar um estudo qualitativo da situação, tentando definir e delimitar, de maneira precisa, o problema etc.. II) Emitir hipóteses fundamentadas sobre os fatores que podem depender a magnitude buscada e sobre a forma dessa dependência, imaginando, em particular, os seus casos limites. III) Elaborar e explicar possíveis estratégias de resolução, buscando distintas vias de resolução para possibilitar o contraste dos resultados obtidos e mostrar a coerência do corpo de conhecimentos que se dispõe. IV) Realizar a resolução verbalizando, ao máximo, evitando operações automáticas, carentes de significado. V) Analisar cuidadosamente os resultados à luz das hipóteses formuladas e, em particular, dos casos limites considerados (opus cit.: 134b).

³ É preciso deixar claro que eles não estão a defender o ensino de processos científicos como objetivo do ensino das ciências, mas a adquirir conhecimento de forma significativa por meio de um câmbio metodológico, por aproximação a uma prática de investigação científica (cf. Gil et al. 1988a: 17a; Gil & Castro 1996: 156a).

Em relação ao laboratório didático, propriamente dito, Lanciotti (1994) afirma que as atividades experimentais devem ser concebidas como “*investigações coletivas sobre situações problemáticas interessantes e abordáveis*” em que o docente atua mais como orientador ou diretor de pesquisa experiente, auxiliando os estudantes em seu processo de formulação de perguntas e busca de respostas. Na mesma linha, segue uma proposta mais completa para o laboratório didático de Gil & Castro (1996), em que se propõe essencialmente os mesmos aspectos anteriores, porém, obedecendo algumas especificidades da atividade prática:

I) Apresentar situações problemáticas abertas. II) Favorecer a reflexão dos estudantes sobre a relevância e possível interesse da situação proposta, considerando as suas implicações em relação à ciência, tecnologia e sociedade. III) Potencializar a análise qualitativa. IV) Planejar a emissão de hipóteses, como atividade central da investigação científica, insistindo na necessidade de fundamentar ditas hipóteses. V) Conceder toda importância à elaboração de esquemas e à planificação da atividade experimental, incorporando, na medida do possível, a tecnologia atual. VI) Propor uma análise detida dos resultados, à luz do corpo de conhecimento disponível, das hipóteses manejadas e de outros resultados de outros alunos, favorecendo as revisões dos esquemas, das hipóteses, incluindo o planejamento do problema. VII) Propor a consideração de possíveis perspectivas, dando novos delineamentos a outros níveis de complexidade e contemplando implicações na ciência, tecnologia e sociedade. VIII) Pedir um esforço de integração do estudo realizado e da construção de um corpo coerente de conhecimentos. IX) Conceder especial importância à elaboração de relatórios científicos. X) Potencializar a dimensão coletiva do trabalho científico (opus cit.: 156-157).

Método Científico, Epistemologia e Ensino Experimental

Neste momento, situemos a motivação existente para o emprego do método de investigação, delineando, na seqüência, discussões de caráter mais epistemológico e pedagógico a respeito do uso do laboratório escolar, que servirão para contextualizar e contrastar a aplicação da nossa abordagem.

Senso comum da atividade experimental e a questão do método

A proposta de investigação, no laboratório didático, contrapõe-se às atividades de cunho meramente ilustrativo dos conhecimentos transmitidos em sala de aula (Gil & Castro 1996: 155). Com ela, igualmente, pretende-se mudar atitudes através de uma mudança metodológica, que auxilia, em termos de profundidade, a apreensão de conhecimentos novos (Gil, & Carrascosa 1985; Gil et al. 1988).

Epistemologicamente, a fundamentação que orienta a ação pedagógica por investigação também é antagônica à baseada na ilustração. Em relação a esta última, ela é proveniente do movimento gerado junto à comunidade de educação científica dos anos 60, denominado de aprendizagem por questionamento-descoberta (Matthews 1994: 146; Millar 1987). A origem epistemológica indutivista-empirista deste movimento norteia, ainda nos dias de hoje, o ensino de ciências nas escolas, particularmente, das práticas de laboratório (Arruda & Laburú 1998). Na literatura de educação científica, muitas objeções a essas práticas didáticas são levantadas. Por exemplo, em Kirschener (1992) é feita uma ampla crítica ao emprego do laboratório escolar, baseado na visão indutivista da ciência, que Millar (1987: 112) denomina, em termos mais gerais, de “*visão padrão da educação científica experimental*”. Conforme o primeiro autor, tal visão está

firmada na imagem do método científico baconiano (Kirschener 1992: 274), em que as atividades práticas são concebidas como processos quase mecânicos, divididos em etapas, que se iniciam pela observação e experimentação, seguidos por um padrão de generalização indutivo de procura e identificação de regularidades, conduzindo à formulação de hipóteses (afirmações e leis científicas gerais), passando por uma atenta verificação submetida a provas e contraprovas, levando finalmente, em cada verificação bem sucedida, à descoberta de um conhecimento objetivo. A visão indutivista, imagina os cientistas olhando o mundo sem idéias “a priori”, extraindo relações e generalizações a partir da coleta e registro de dados e de observações objetivas (opus cit.).

Opondo-se igualmente à imagem popular indutivista da ciência como descoberta e expandindo essa oposição à qualificação do conhecimento obtido em laboratórios como válido, pois isso garantiria a sua confiabilidade e fidedignidade, o segundo autor concentra a sua crítica em certas etapas das que foram mencionadas acima. No caso, Millar (1987) questiona o propalado uso escolar do teste experimental de hipóteses (p. 112)⁴. Chega a afirmar que os experimentos escolares não podem ser usados de maneira hipotético-dedutiva (p. 113), argumentando o seguinte: *“assim como, os dados experimentais são equívocos⁵ e suas implicações passam por profundos debates dentro da comunidade científica e um ‘fato’ somente é aceito como tal após um prolongado processo de negociação, os experimentos escolares, da mesma forma, não são suficientes para delinear com clareza e decisão, qualquer teste real de hipóteses”*⁶(p. 110, 112). Comprometido com o referencial kuhniano, esse autor afirma, conseqüentemente, que os experimentos de laboratório escolar deveriam ser tratados como *“solução exemplar de problemas”*, pois fazer um experimento é expor um paradigma e não descobrir um conhecimento ou testar hipóteses (p.114). Segundo Gil (1986: 113a), Hodson também compartilha com tal pensamento quando considera que o principal objetivo do ensino de ciências é fazer com que os alunos aprendam as teorias vigentes e saibam aplicá-las aos fenômenos, adequadamente. Deste modo, a maior parte do trabalho de laboratório na escola deveria se concentrar na ilustração da teoria, o que Gil interpreta como uma perspectiva baseada na ciência normal de Kuhn (ibid.).

Com isso, como pretendemos deixar mais claro no decorrer da discussão, a nossa proposta, diferentemente dos grandes projetos do passado, tal qual o PSSC, não pretende, nem uma metodologia de instrução indutivista (Millar 1994: 116; 1987; Hodson 1994; Kirschener 1992), nem uma visão da ciência popperiana, em que a prática da formulação de hipóteses é enfocada em primeiro lugar entre uma lista de processos, onde se dá demasiada ênfase ao experimento, como modo de tomar decisões inequívocas sobre a falsidade ou validade das teorias (Arruda et al. 2001; Hodson 1994: 303a; Millar 1994: 166), como projetos mais recentes parecem almejar.

Processo “versus” conteúdo

Uma paralela e importante linha de reflexão relacionada à proposta de investigação, diz respeito ao demasiado destaque dado à aprendizagem do método em si (Ramsey apud Kirschner 1992: 273; Michels 1962), resultante da crença de que um trabalho científico característico, baseado num algoritmo preciso, é capaz de dirigir as investigações científicas ou, dentro do que nos

⁴ Como também da objetividade do conhecimento pois, como se pode ver na seqüência, ele é adepto da epistemologia kuhniana.

⁵ Pois, como ele mesmo lembra, fundamentado em Lakatos (1978), testes experimentais não podem, conclusivamente, falsificar hipóteses ou paradigmas (Millar 1987: 110).

⁶ Como veremos em seção à frente, isto é um problema inerente à aplicação do método de investigação.

interessa, como pré-condição à aprendizagem mais eficiente de conteúdos (Gil 1986; Gil & Carrascosa 1985)⁷.

Uma primeira colocação contrária a essas posições, vem de Hodson (1985). Ele considera uma impropriedade contemplar objetivos bastante distintos, como a compreensão dos procedimentos da ciência e a aquisição dos conhecimentos científicos, em que o estudante seja posto em situação de aprender o conteúdo através do método. Para esse autor, a aprendizagem dos conhecimentos científicos deveria estar dissociada dos métodos da ciência, seja qual for a sua interpretação, como apontamos na subseção anterior. Como nos lembra Kirschner (1992), os responsáveis pelo desenvolvimento do ensino de ciências, quando imaginam estratégias de ensino, tomando por ênfase os processos, incorrem num erro básico de considerar o conteúdo pedagógico da experiência de aprender como tendo estrutura sintática semelhante à da disciplina que está sendo estudada (p. 273). Segundo ele, os educadores que aderem a essa crença esquecem que não se ensina a fazer ciência, mas sim, como praticá-la. Confundem, no ensino de ciência, privilegiar o processo em detrimento de simplesmente usá-lo para ensinar (opus cit.). Com essa mesma preocupação vemos a advertência de Osborne (1996: 67), Ogborn (1997: 122) e Nola (1997: 79) quando afirmam não existir uma necessária conexão funcional epistemológica entre fazer ciência e os métodos pelos quais ela é aprendida e principalmente ensinada para os não cientistas. Em outras palavras, poderíamos dizer que fazer ciência é distinto de entender e aprender ciência, que é principalmente distinto de aprender algo sobre a ciência, caso comum das salas de aula.

Nessa direção, explicita Millar (1994), a educação científica não deve ter como meta o ensino de processos. Para ele, as destrezas do dito método científico⁸, incentivadas pela instrução por descoberta, não são decisões, entre outras, definidas e guiadas por um conjunto de regras e procedimentos colocados na cabeça de alguém. Também, o domínio de destrezas não é uma garantia de ataque a novos problemas, ou meta para alcançar concordância sobre o que significa um conjunto de resultados experimentais⁹ (p. 167). Muitos desses procedimentos e regras são traços gerais da cognição e são usados rotineiramente por qualquer um, inclusive, pelos aprendizes sem instrução (opus cit.: 172).

Solomon (1988), igualmente, reconhece que o propósito do experimento não deve ser o de ensinar processos; estes, através de suas habilidades, não são específicos da ciência e nem do bom ensino. Kuhn (1993) também comenta que um cientista, para se tornar competente, precisa adquirir mais do que uma estratégia formal de hipótese-teste a ser aplicada em diversos conteúdos (p. 331). Para ela, o pensamento científico não é um conjunto desvinculado de procedimentos impostos com suficiente realce, para se procurar entrar no reino da ciência (p. 320). Assim sendo, a consideração

⁷ Lembramos, conforme Millar (1994) e Kirschner (1992), que a antiga metodologia por descoberta já propunha, como orientação didática, a defesa de uma instrução voltada para o desenvolvimento de atitudes e procedimentos, modelados pelo método científico indutivista. É preciso dizer, ainda, que Gil e Castro (1996) se apressam em assinalar, várias vezes, que não estão a defender que a atividade científica seja constituída por uma seqüência linear de passos (como as de I a X da segunda seção deste trabalho), “*sino un recordatorio de la riqueza de lo trabajo científico*”. Contudo, não fica claro na proposta desses autores como fugir, na prática, da rigidez dessa seqüência, pois como eles mesmos argumentam: “*(Una riqueza) que debe estar presente en los intentos de transformar toda la enseñanza de las ciencias y no solo las prácticas*” (p. 156a; p. 157a). À frente vemos uma resposta a essa problemática dada pela nossa proposta.

⁸ Tais como: decidir o que observar; selecionar as observações que se deve prestar atenção; interpretar e extrair inferências dos dados experimentais como, por exemplo, classificações; propor hipóteses; planejar experimentos para culminar no teste empírico das hipóteses, extrair conclusões dos dados; replicar experimentos (ibid).

⁹ Conforme ainda Millar, a concordância e o significado são conseguidos quando o professor devota mais tempo em sala de aula para a negociação e avaliação das conseqüências dos resultados experimentais. Estes últimos, como já indicado, devem ocorrer sob a luz kuhniana de um aprendiz conhecedor da interpretação prévia dos resultados que, por inspeção, saberá se o experimento foi executado corretamente, tomando por base as suas expectativas (Millar 1987: 114 - 115).

intermediária de Gott & Mashiter (1994) é interessante de ser mencionada. Eles concordam com as críticas feitas à aprendizagem em ciências, quando esta dá maior ênfase aos métodos, aos processos, aos procedimentos, do que aos produtos (p. 181). Porém, na maneira de ver desses autores (p. 184), como de Tobin et al. (1984), os processos e habilidades não têm que ser tópicos isolados do ensino curricular de ciências, mas deveriam estar inseridos em concomitância com os conceitos.

Epistemologia versus metodologia

A abordagem didática de investigação que imaginamos, sujeita-se à seguinte postura intelectual. Diferentemente do pensamento que induz à conclusão de que, *“sem uma mudança metodológica não pode haver uma mudança conceitual”*¹⁰ (Gil 1986: 116a), realçamos, por outro lado, o papel fundamental da mudança conceitual passar por uma mudança epistêmica, em que a própria mudança metodológica estaria assim submetida. Nesta direção, lembra-nos Garcia (Piaget & Garcia 1984), o método científico permanece subordinado à concepção de mundo e à natureza dos problemas formulados. É na concepção de mundo e na natureza dos problemas, e não na metodologia, que se situa a diferença fundamental entre diferentes visões de ciência (p. 173). Assim, argumenta que, no caso da história, o longo caminho que levou de Aristóteles ao século XVII não esteve determinado pelas dificuldades dos atores desse lento processo de se convencerem da benevolência da experimentação ou da fecundidade do método hipotético-dedutivo, afirmando que: *“não há muito que agregar sobre este tema no século XVII”* (p. 61). A proposição defendida por ele é que não são as considerações de ordem metodológicas que abrem caminho à ciência e, sim, certas pautas de caráter epistêmico (ibid.). Por exemplo, não se deve buscar qual foi o método adequado para encarar uma teoria do movimento que chega a satisfazer os caminhos modernos de uma teoria científica. Pelo contrário, Garcia afirma que devemos buscar os fundamentos epistêmicos na aplicação de uma metodologia dada, perguntando qual foi a evolução que conduziu aos pressupostos epistemológicos e sobre quais bases terminou-se por aceitar uma dada teoria como cientificamente satisfatória. Certos tipos de questões fundamentais que tentam contestar uma dada teoria, e que se centram em premissas não demonstradas, aceitas de forma implícita ou explícita, que se preocupam com o tipo de relação entre experimento e teoria, ou que procuram entender o papel da matemática na formulação de uma teoria física, não são de caráter metodológico, segundo Garcia (opus cit.: 62). No seu entender, tais questões não apresentam esse caráter, pois mesmo após a metodologia adequada haver sido elaborada, como, por exemplo, depois de se aceitar a necessidade da experiência para obter, por indução, leis gerais (regularidades), depois de se admitir a necessidade do método hipotético-dedutivo e da observação empírica para observar as conseqüências dedutivas de uma teoria etc., as referidas questões continuarão presentes. De acordo com isso vemos em Koyré (1991) a constatação de que o progresso do pensamento científico parece ter sido, em boa medida, independente do progresso da metodologia (p. 69), o que leva ao problema da influência da filosofia ou da metafísica em geral, e não, unicamente, da lógica ou da metodologia, sobre o pensar científico (p. 71). Conseqüentemente, as respostas às perguntas anteriores não devem ser buscadas no campo das normas metodológicas, mas como resultado de mudanças epistêmicas.

Ora, estas posturas vão diretamente de encontro à proposição responsável por justificar a defesa do método por investigação de Gil, proposição que pode ser vista quando esse autor diz que as concepções aristotélicas-escolásticas só puderam ser afastadas graças a uma mudança

¹⁰ Aqui é justo dizer que Gil não isola a componente metodológica da conceitual, mas as considera como aspectos inseparáveis, como se vê na continuação da sua argumentação: *“; pero por otra parte los procesos científicos sólo tienen sentido en el marco de esquemas conceptuales (o paradigmas teóricos) como punto de partida y términos: sin atención a los contenidos – o con tratamientos puntuales desligados de los mismos – la metodología científica queda desvirtuada, no es tal”* (opus cit.)

metodológica (Gil 1986: 115b). Para ele, a grande mudança histórica das concepções físicas aristotélicas para as pós-galileanas deve ser encontrada em razões de natureza metodológica. Ao considerar semelhanças entre o paradigma aristotélico e as noções intuitivas dos aprendizes, Gil e colaboradores avançam num paralelismo que procura garantir que a aquisição dessas noções está submetida ou é devida a uma *“metodologia da superficialidade”* presentes, tanto no pensamento pré-científico, como no pensamento dos aprendizes (Gil & Carrascosa 1985). Deste modo, particularmente, a metodologia da superficialidade é empregada de maneira similar na abordagem dos problemas do comportamento mecânico da matéria, tanto pelo paradigma aristotélico-escolástico como pelos alunos leigos, pois eles sofrem das mesmas causas. Mais concretamente, segundo Gil (1986: 115a), tais paradigmas tendem, apoiados no senso comum, a fazer generalizações sem sentido crítico, sob uma base de observações qualitativas não controladas. Conclui, então, que da mesma forma que a passagem do pensamento pré-científico ao científico foi propiciado por uma transformação metodológica dos fundamentos da chamada metodologia da superficialidade, em direção a uma metodologia nova, a científica, implicando em maior rigor e criatividade, na medida em que é promotora da imaginação de novas hipóteses e do contraste destas em condições controladas, também, e por essas razões, a mudança conceitual dos alunos deveria passar por essa transformação. Em resumo, para Gil:

“a principal dificuldade para uma correta aquisição de conhecimentos científicos (pelos alunos) não reside na existência de esquemas conceituais alternativos ou concepções intuitivas, mas na metodologia da superficialidade que está em sua origem”. (Gil 1986: 115b)

Em oposição a esta sustentação teórica do método de investigação proposto por Gil e colaboradores, a nossa proposta alinha-se aos pensamentos de Garcia e Koyré descritos. Ou seja, imaginamos que as questões de âmbito metodológico se subordinam às epistemológicas. Discordamos, assim, da tese que diz que é graças ao método da ciência que possuímos a capacidade de transformar opiniões e ideologias dos nossos aprendizes em conhecimento objetivo, certo e não ideológico¹¹.

Como veremos, pode-se enfrentar junto aos aprendizes, durante uma atividade investigativa empírica, toda sorte de problemas que traspassam os aspectos metodológicos, indo, desde a comum dificuldade na articulação e domínio do conteúdo (ou conteúdos relacionados), até problemas epistêmicos que se mostram recalcitrantes à melhora da performance do primeiro¹². Quando se está desenvolvendo um trabalho desse tipo em sala de aula, problemas relacionados à *ecologia conceitual* (Posner et al. 1982) do aluno, como conceitos e crenças metafísicas, compromissos epistemológicos, entre outros, encontram-se certamente em pauta. Se nos concentrarmos nestes últimos, como uma forma de ilustração, continuamente perceberemos o professor enfrentando problemas junto aos seus alunos, relacionados, entre outros, à necessidade de haver um explícito entendimento em coordenar e separar teoria e evidência (Leach 1999: 789)¹³, em diferenciar problema de hipótese¹⁴ (Richmond & Shirley apud Driver et al. 2000: 303), incapacidade de construir argumentos relativos aos aspectos operacionais levados a cabo na investigação (ibid.), de

¹¹ Tal racionalidade também é negada por Feyerabend para o caso da produção da ciência, como lembra Cupani (1985: 88).

¹² É preciso que se acrescente que esse tipo de atividade é um dos que mais se presta para observar o surgimento desses problemas, pois as atividades tradicionais de laboratório, baseadas em roteiros rígidos, costumam escamotear muitos problemas.

¹³ Kuhn et al. (apud Leach 1999: 790) argumentam que até a adolescência, as crianças não mantêm teoria e evidência como entidades separadas, o que as incapacita de refletir a respeito das teorias em termos de evidências e a gerar predições baseadas nessas teorias. Em Leach (1999) também há a constatação de que um número significativo de crianças de nove anos absolutamente se refere à evidência como prova de uma explicação, mas, polemizando com Kuhn, afirma que elas são capazes de separar evidência de teoria (ibid.: 803).

¹⁴ A respeito dessa problemática envolvida com as hipóteses e problemas, encontrada em alunos de grau 10 na Inglaterra (ibid.), veremos, mais à frente, que os resultados de nossas observações possibilitam um diferenciado e maior aprofundamento de ambos os aspectos.

consistência interna entre as idéias teóricas e entre estas e os dados, dificuldades em buscar a generalização, em termos de afirmações universais, como fruto da unificação de idéias e, quando o contexto não for familiar, do não uso da indução (Wickman & Östman 2002: 465). Ademais, pode deparar com uma indisposição do aluno em mudar teorias, quando garantido, com crenças que impedem a compreensão de que a ciência não só se aplica ao mundo mas também ao laboratório, que a ciência não é um conhecimento estático, mas um contínuo processo de debate acerca da evolução das teorias (Chinn & Brewer 1993). Isso, sem contar com questões igualmente relevantes, circunscritas ao campo do subjetivo (Villani et al. 2001: 4), que são preocupações constantes do professorado ou, principalmente no caso dos alunos mais jovens, quando tem que se defrontar com questões ligadas ao campo do pensamento lógico mais fundamental, como, por exemplo, os explicitados em Piaget & Inhelder (1976), da regra do fechamento dedutivo, da regra da não consistência¹⁵ e, para finalizar, a conhecida dificuldade dos aprendizes em transpor o raciocínio concreto e a linguagem verbal para a linguagem e o raciocínio matemático mais abstrato.

Discurso na sala de aula e aprendizagem significativa

Como veremos, a aplicação da nossa abordagem de investigação presume, além das problemáticas acima, uma base teórica pedagógica que dá ênfase e estímulo à linguagem falada e ao papel central que deve ter o professor para que isso aconteça¹⁶. Então, passemos agora a especificar o contexto de ensino no qual se coloca a nossa proposta de investigação para o laboratório didático.

Como parte integrante do processo do ensino em ciências, as atividades em laboratório deveriam estar incluídas, da mesma forma que qualquer processo educativo, numa perspectiva que procura potencializar uma aprendizagem significativa. Com aprendizagem significativa, entende-se aquela atividade de ensino na qual o aprendiz procura controlar deliberadamente suas ações e pensamentos, em função dos seus conceitos estarem subsumidos a uma estrutura cognitiva (Moreira 1999). Contrariamente, uma aprendizagem de pouco significado caracterizar-se-ia como superficial, frívola, de pouca duração, enquanto baseada em ações involuntárias automatizadas, centradas, tão somente na repetição, imitação, memorização, treinamento e em conceitos desconexos ou idéias isoladas. Em termos gerais, aprender com compreensão implica fazer uso de processos mentais que estimulem funções psicológicas superiores, tais como, a capacidade de planejamento, memória voluntária, imaginação, argumentação, raciocínio lógico, crítico etc.. As funções em questão, por não serem inatas, são desenvolvidas ao longo do processo de internalização de formas culturais de comportamento (Oliveira 1993: 97; Rego 1998: 39), tendo como espaços privilegiados, para a construção dos conceitos, as interações sociais e, para a criação dos significados, a linguagem (Souza e Kramer 1991).

À linguagem e à internalização dos significados culturais é dado um decisivo papel para o desenvolvimento do pensamento, pois este nasce da palavra, que inclui a fala interior (Howe 1996; Jobim e Souza & Kramer 1991: 72). Assim, por haver uma íntima conexão dinâmica entre pensamento e linguagem, em que esta última desempenha papel ativo no processo de pensamento (Rego 1994: 43), tomando parte do próprio ato de construção do mesmo (Jobim e Souza & Kramer

¹⁵ A regra do fechamento dedutivo diz: deve-se acreditar sempre em todas as conseqüências lógicas daquilo em que presentemente se crê; a regra da não consistência diz: não acredito nos elementos de um conjunto inconsistente de proposições (Abrantes 1993: 183).

¹⁶ Com respeito a estes últimos aspectos Gil e colaboradores também os enfatizam, e as nossas diferenças estão essencialmente na ênfase ou na forma em que são empregados na prática.

1991: 77; Oliveira 1992), temos presente que o diálogo em sala de aula e, no caso, do laboratório, é importante fator de aprimoramento cognitivo e de pensamento crítico, por conseguinte, elemento condutor da aprendizagem com significado. Fundamentalmente, solidarizamos-nos com a idéia, do nosso ponto de vista, central, de que “qualquer compreensão genuína compartilha uma resposta orientada em relação ao contexto da enunciação de outrem, e a cada palavra da enunciação que se está em processo de compreender, faz-se corresponder uma série de palavras próprias e quanto mais numerosas e substanciais forem estas, mais profunda e real será a compreensão” (Bakhtin apud Voloshinov 1992).

Assim sendo, a elaboração de um procedimento baseado no discurso, para a sala de aula, não somente passa por uma função univocal, que envolveria uma única voz, mas, necessariamente passa pela ponderação de uma função dialógica, em que o interlocutor levaria em conta as palavras do outro¹⁷. Como melhor esclarecem Mortimer & Machado (2000: 439), com a ajuda do professor, a alternância entre a função dialógica e unívoca do discurso é importante mecanismo que permite aos estudantes explicitar os seus significados, clarificá-los e aprimorar as suas elaborações. Pois, na medida em que se proporciona que os aprendizes façam um esforço para exprimir em palavras os seus pensamentos, dá-se oportunidade para que seus conhecimentos se coordenem, logo, organizem, estruturem e desenvolvam melhor. Do lado do professor, esta dinâmica, em tempo real, torna possível o acompanhamento da perspectiva subjetiva de quem fala e do horizonte conceitual do mesmo, manifestados durante a construção do conhecimento científico (opus cit.: 435). Tendo isso em conta, manter um diálogo com os estudantes, favorece a produção de novos significados, permite a verificação de forma instantânea do encaminhamento dos pensamentos dos aprendizes, se eles se encontram na direção correta e, quando isso não estiver acontecendo, possibilita que correções sejam feitas através de um processo discursivo mais unívocal, mais de autoridade. Sem dúvida, há aqui o reconhecimento do papel decisivo do professor como um auxiliar do aluno na superação de suas dificuldades momentâneas, de perscrutador “tête a tête” dessas dificuldades e de mediador, nesse sentido, da sua entrada na comunidade nova de discurso, que é o científico.

Pressuposto, então, que qualquer entendimento verdadeiro é dialógico por natureza (Voloshinov 1992), a interação verbal entre estudantes e professor auxilia aqueles a perceber e superar não apenas as dificuldades experimentais, como, também, as conceituais, pois, como é lugar comum na teoria construtivista, estas últimas freqüentemente estão relacionadas com diferentes esquemas, quando numa mesma observação.

Em suma, a atividade experimental, como parte da atividade escolar, sempre que possível, precisa ser imaginada, como um espaço oportuno de incentivo permanente à interação dialógica entre professor e alunos, através da qual a aquisição dos novos conhecimentos científicos é negociada junto a uma insistente e extensa atividade argumentativa (Leitão 2003; Kuhn 1993; Santos 2001) e de exploração do pensamento crítico (Bailin 2002; Laburú 1996; Siegel 1989). Em outras palavras, é essencial para a nossa proposta instrucional, a sustentação, por parte do professor, do que van Zee & Mistrell (1997) designam de um *discurso reflexivo*, cuja finalidade é o desenvolvimento de entendimentos compartilhados entre ele e seus alunos. Assim como para esses dois últimos autores, entendemos que três contextos primários precisam estar presentes na sala de aula, para que tal discurso ocorra: os estudantes devem expressar os seus próprios pensamentos,

¹⁷ As funções dialógica e unívoca dentro de um discurso abarcam distintas finalidades. Enquanto a primeira tem a função de gerar e elaborar novos significados por persuasão, onde se permite a contra-palavra, é meio nosso e meio de alguém mais e várias vozes estão envolvidas, a segunda é fundamentalmente transmissora, consolida e reforça significados já estabelecidos, onde se torna importante que os códigos do receptor e do transmissor coincidam, pressupõe não modificação e não uma livre apropriação das palavras, mas demanda fidedignidade (Mortimer & Machado 2000: 433-435).

comentários e ajuizamentos, em vez de recitar respostas de livros-textos. Os professores e os estudantes individualmente, precisam se engajar numa extensiva série de troca de questionamentos, o que ajuda, os primeiros, a articular suas crenças e concepções, e, os segundos, a avaliar de forma imediata as suas praxes. É necessário que haja uma atmosfera de intercâmbio intelectual entre os estudantes, onde cada um deles procure entender o pensamento do outro (opus cit.).

A Nossa Proposta

Considerações iniciais

Observadas as ponderações até agora discutidas, propomos que a ação didática experimental oriente-se por momentos, não necessariamente rígidos, que convencionamos pelas seguintes denominações: I) Fenômeno, II) Problema, III) Hipóteses, IV) Plano de Trabalho, V) Análise, VI) Conclusão. A não rigidez desses momentos deve ser compreendida no sentido de que, muitas vezes, é necessário que momentos anteriores, aparentemente ultrapassados, precisam ser retornados. Em contraste com a orientação de Gil & Castro (1996), esses momentos ou etapas são essencialmente utilizados como plano de aula e guia para o professor encaminhar e organizar o processo de instrução e de exploração de questões junto aos seus alunos, com o objetivo de monitorar entendimentos, desenvolver o conteúdo, apresentar as técnicas experimentais e capacitar os estudantes com as habilidades cognitivas necessárias para o desenvolvimento do conteúdo. Paralelamente a isso, e junto a um constante processo dialógico e de discurso reflexivo, cada etapa específica é uma oportunidade para o professor concentrar, enfocar e sanar dúvidas que forem surgindo junto aos alunos, responder e ultrapassar problemas e críticas levantadas por ele mesmo ou pelos alunos, tais como, as relacionadas com as destrezas ou técnicas experimentais, com as habilidades no uso de instrumentos, com a teoria, com a matemática, com questões cognitivas e metacognitivas (Baird et al. 1991: 164), lógicas, de tratamento dos dados, com a ecologia conceitual dos alunos (aqui entram as questões de natureza epistemológicas), entre várias outras, dependendo do instante e do contexto da instrução.

Desta forma, junto aos aspectos de planejamento e de estruturação prévia da aula experimental, de direcionamento e de ordenamento dos tópicos a serem postos em discussão, durante cada instante da aula, objetiva-se, na medida do possível, levar os alunos a conduzirem uma seqüência ordenada de atividades intelectuais e práticas¹⁸. No entanto, é preciso realçar, essas etapas não devem ser caracterizadas como um fim em si mesmas, devendo, como comentado, estar limitadas a estruturar o plano de aula e o encaminhamento da mesma, por parte do professor. De maneira semelhante, não devem ser imaginadas como algum tipo de algoritmo a ser aprendido e seguido pelos alunos. Para estes, as etapas poderiam estar implícitas no processo de aprendizagem. Consequentemente, não vemos importância didática na explicitação ou no ensinamento das mesmas, de modo a requerer dos alunos que sigam ou se enquadrem numa seqüência rígida e fixa de passos ou a uma lista de processos, mas que poderão surgir naturalmente ou por necessidade da própria provocação discursiva.

Com este encaminhamento para o laboratório didático, diversamente de Gil e colaboradores, queremos realçar o papel de instrutor do professor, no sentido de uma ação mais direta deste último, e não tanto, como muitas vezes insistem aqueles autores, de um orientador, de um diretor de

¹⁸ Em referência às atividades intelectuais queremos dizer que observar, classificar, inferir, fazer e testar hipóteses, concluir, são processos, entre outros, subjacentes às etapas, que devem ser estimulados pelo professor (Millar 1994) e não esperados que fluam espontaneamente dos alunos, como veremos na exemplificação à frente.

pesquisa experiente, que auxilia os estudantes em seu processo de formulação de perguntas e busca de respostas (Lanciotti 1994); uma analogia, que tende a transformar o ambiente de aprendizagem de sala de aula em investigação científica, com características de pesquisa científica (Gil & Castro 1996). Associada a essa forma de pensar, vemos uma didática reforçada por palavras de ordem como *propor, potencializar, favorecer, insistir, pedir um esforço, conceder* (Gil & Castro 1996: 156b-157a), que parece contar com uma independência e maturidade dos alunos que corriqueiramente não estão presentes na sala de aula. Pelo contrário, é considerável a presença de alunos, em qualquer nível escolar, que pouco se dispõem a um engajamento mais aprofundado com o conhecimento ou com uma prática que leve a um paralelismo mínimo com o que fazem os pesquisadores e seus orientados¹⁹.

Ainda que a metodologia de Gil e colaboradores seja um referencial desejável, quando se almeja mudar os disseminados e desfavoráveis hábitos e atitudes acima referidos, por outro lado, em razão do que dissemos, vemos que a praxe da sala de aula requer, normalmente, uma intervenção muito mais direta do professor do que propõe essa metodologia, ensinando o aluno a como fazer, a como pensar, dando-lhe informações explícitas. Porém, diga-se de passagem, essa intervenção direta já nos é advertida por aqueles autores, ao constatarem ser ela necessária “*si los estudiantes carecen de experiencia en este campo*”²⁰ - “(isso requer) *una intervención mucho más directa del profesor*” (Gil & Castro 1996: 160b). Todavia, no contexto geral da leitura da proposta, é deixado para o leitor uma conotação que parece evitar o que diz o parágrafo explicitado, dando a entender que deve haver uma reduzida ou mínima intervenção direta do professor, ou que esta parece não ser tão fundamental, quando comparada com os bons frutos pedagógicos gerados pela aplicação da metodologia em si. Essas interpretações se originam, por exemplo, quando se vê os autores complementando a frase antecedente, com a seguinte declaração: “*mas a compreensão das montagens e programas de informática necessários estão ao alcance dos estudantes*” (ibid.: 160b, negritos nossos).

Ora, na nossa maneira de ver, “a intervenção direta do professor” em vez de ser eventual ou exceção, por alguma falta de experiência do estudante, em algum campo particular, torna-se, via de regra, uma situação freqüente no ambiente diário de classe. De fato, o que se tem em larga escala, são alunos com enorme carência experimental e de conhecimentos. Consequentemente, a nossa abordagem procura propiciar um maior controle da aprendizagem dos alunos, pois entendemos que o professor deva estar a todo o momento interagindo com eles, solicitando a sua atenção e raciocínio, através de constantes questionamentos, levantamento de opiniões e argumentos. Isto potencializa a atenção mais efetiva do aprendiz no processo com um todo, do que o método a que nos contrapomos, o qual, como dissemos, melhor se adequa, pela nossa leitura, a sujeitos com uma

¹⁹ Em outras palavras, há entre os estudantes, o costumeiro hábito de dependência muito acirrada dos professores. Apesar do esforço, muitas vezes isolado e válido, na reversão dessa condição por alguns destes últimos, o que se nota com freqüência são alunos acostumados a não pensar de maneira autônoma e independente (Laburú & Carvalho; no prelo). É perceptível, igualmente, que as relações e compromissos, não só com o conhecimento (Villani et al. 2001), mas com a variedade de conteúdos, são diferentes para cada aluno. Por conseguinte, tais considerações tornam frágil uma conduta investigadora mais “*stricto sensu*” e generalizada para qualquer perfil de aluno. Essa conduta se agrava ainda mais quando se têm professores dando aulas para diversas turmas, o que prejudica, ou impossibilita mesmo, relações como as dos pesquisadores com seus orientados. Ora, como se sabe, neste último caso, a ligação que se estabelece é muito ativa e está envolta em interesses comuns, como compromissos com os tópicos de pesquisa e mesmo com os aspectos acadêmico-profissionais que advêm dessa forte interação. As relações de dedicação e de tempo interpessoais despendidas são muito mais profundas, intensas e extensas, do que as requeridas numa convivência de poucos minutos semanais, num total de dezenas de aulas a serem ministradas, em que estão envolvidos meia centena de estudantes por classe, que chegam com os mais variados interesses e motivações.

²⁰ O campo que os autores se referem diz respeito à automatização do processo de retirada de dados de uma esfera que rola por um plano inclinado em que os alunos teriam dificuldades na compreensão da montagem e dos programas informatizados.

maior responsabilidade, maior autonomia e de atitudes distintas das que geralmente são encontradas na grande maioria das escolas convencionais. Portanto, para satisfazer os problemas levantados pela nossa perspectiva, solicita-se do professor um permanente monitorar das dificuldades dos alunos, corrigindo-as e ultrapassando-as de imediato, pelo discurso unívoco, quando percebe que as formas dialógicas e por negociação parecem esgotadas.

A título de esclarecimento, o que se nota, ao se procurar implementar a metodologia de investigação de Gil e Castro (1996), são alunos, já no segundo momento acima definido como Problema, ou mesmo no primeiro, do Fenômeno, encontrando grandes barreiras para transpassá-los, por razões que mostraremos na próxima seção. Assim, no compromisso de promover cada etapa de forma mais integral, vemos o professor tendo, pela nossa dinâmica, a oportunidade de estar observando, ou mesmo, adiantando-se às grandes e pequenas dúvidas dos alunos que possivelmente possam surgir. Dúvidas, lacunas ou correções que, repetimos, precisam ser superadas de imediato, para as atividades de laboratório não se reduzirem a operacionismos sem sentido ou a meras cópias irrefletidas das tarefas solicitadas.

Outra criticável insistência dos trabalhos de Gil e colaboradores é a que trata da emissão de hipóteses. Vê-se que para eles esta etapa é fundamental dentro da metodologia de investigação, pois são freqüentes afirmações do tipo: “*Plantear la emisión de hipótesis como **actividad central** dela investigación científica*” (Gil & Castro 1996: 156b), ou “*la invención de hipótesis, que constituye además, el **núcleo esencial** de la metodología científica, - y, en general, **la creatividad**” (Gil et al. 1988: 135b) (grifos nossos). Em cima da argumentação que vimos fazendo, constatamos que esta etapa é tão central e criativa quanto todas as outras. Além do mais, como vamos ver, existem, para os aprendizes, complexidades específicas a serem vencidas nesta etapa, que sem o auxílio e atuação direta e explícita do professor, no sentido de estar instruindo e informando, o aluno dificilmente transpô-la-ia de maneira criativa, como nos parece fazer acreditar aqueles autores.*

Em suma, por mais sedutora que seja a aproximação entre pesquisa e ensino, quando se trata da corriqueira sala de aula, constatamos uma maior adequação da metodologia de investigação na aproximação que delineamos.

Um exemplo: estudo da lei de Boyle-Mariotte

Prolegômenos e metodologia utilizada

A fim de deixarmos claro o que dissemos, neste momento apresentamos explicitamente a nossa proposta de investigação. Para isso, tomamos o experimento que estuda a lei de Boyle-Mariotte ($P.V = \text{constante}$)²¹ para os gases, como exemplo. No decorrer da apresentação, iremos apontando simultaneamente as dificuldades que normalmente surgem e que, portanto, prejudicam o emprego da estratégia mais aberta de Gil e Castro (1996).

As dificuldades que estaremos abaixo indicando foram reveladas em amostras de alunos de segundos anos do ensino médio (três classes com uma média de 20 alunos), da Escola de Aplicação da Universidade Estadual de Londrina, em aulas duplas de laboratório de física com duração de 50

²¹ O material experimental consiste de um suporte universal com mufa para segurar uma seringa hipodérmica de vidro de 20 ml, com o êmbolo lubrificado com óleo de câmbio de automóvel. Cinco tijolos mineiros, de aproximadamente um quilo e meio, embrulhados em jornal, são empregados como massas para serem colocadas sob o êmbolo (Funbec 1979: 76). Neste último é colada uma pequena e leve plataforma de madeira (por volta de 6X12 cm) para dar maior estabilidade aos tijolos.

minutos cada. Informamos que era comum os alunos participarem de atividades de laboratório nas diversas disciplinas de ciências.

As inferências descritas foram obtidas das análises das falas dos alunos através de gravação em vídeo das aulas, complementada por registros de observações “in loco”. Este estudo não obedece um padrão convencional metodológico, pois partimos da observação da prática da nossa proposta para sustentar as reflexões contrárias à aplicação da abordagem de investigação que nos contrapomos.

A situação pedagógica sempre começa com um debate coletivo entre professor e alunos em que se procura manter um discurso reflexivo, varrendo, passo a passo, todas as etapas de I a VI, conforme subseção anterior. Passada essa fase de maior duração, os alunos reunidos em grupo realizam o experimento propriamente dito, ou seja, trabalham nas etapas IV e V. Durante esse momento, há supervisão do professor sobre os grupos e intervenção direta dele sobre cada aluno. Nessa situação, se surgirem perguntas individuais de caráter geral, que subsidiem a realização do experimento, e que não foram levantadas na primeira fase, elas são colocadas para a classe, já que, freqüentemente, são problemáticas para todos. A idéia principal dessa fase é o professor manter um permanente monitoramento dos grupos, a fim de que consigam vencer os problemas experimentais, realizem o experimento e obtenham os dados experimentais. Feito isso, os grupos colocam na lousa os seus dados tabelados para uma segunda discussão coletiva, em que está envolvida a etapa V, que tem por objetivo chegar à resposta do Problema (etapa II). Após esta fase, os alunos terminam a última etapa (Conclusão), fechando-a com um relatório do que foi realizado e discutido.

Antes de entramos nas reflexões a respeito de cada etapa, precisamos observar que, dependendo do objetivo curricular que se encontra por detrás do momento educacional, a abordagem que estamos propondo pode vir a considerar como mais fundamentais certos passos intermediários da atividade do que a obtenção de uma conclusão final, restrita do problema. Ou seja, quiçá seja mais importante ou desejável para a formação dos alunos que aprendam, num determinado momento, a utilizar um termômetro, uma régua, ler uma escala diferente, medir e calcular uma pressão, uma força, interpretar ou construir uma tabela ou gráfico etc., do que chegar a encontrar a lei de Boyle-Mariotte, propriamente dita.

Esclarecido isso, vejamos agora o que pretendemos com cada etapa e alguns dos problemas vistos na sua aplicação.

I Fenômeno:

Em vez de começar por uma situação totalmente aberta, o professor apresenta em detalhes o fenômeno a ser estudado e o equipamento a ser trabalhado, buscando dirimir as dúvidas sobre ambos os aspectos. Um esquema na lousa é feito em conjunto com essa apresentação. Esta etapa procura dirigir a atenção dos estudantes para o gás e para as variáveis volume e pressão a serem estudadas. Inicia-se questionando os alunos sobre como diminuir o volume inicial ($V_0 = 20$ ml) das suas seringas. Estando os tijolos à vista dos alunos, a sugestão de usá-los é quase imediata²². Após colocar um tijolo sobre o êmbolo, pede-se para que os alunos leiam, aproximadamente, o valor do volume do gás. Uma primeira dificuldade já aparece na leitura dessa escala e um tempo é dedicado

²² Algumas vezes sugere-se que se utilize a mão, contudo o professor já descarta essa possibilidade pela dificuldade de se avaliar a pressão.

ao entendimento da mesma. Em seguida, pede-se para que os alunos diminuam ainda mais o volume - o que prontamente eles sugerem maior número de tijolos - e, assim, sucessivamente. A partir disto, questiona-se o inverso, ou seja, como fazer para que o volume aumente. A principal idéia, por detrás dessas discussões, é fazer com que os alunos cheguem à conclusão qualitativa de que a relação entre as variáveis pressão e volume do gás é do tipo inverso (se $V \uparrow$ ou $V \downarrow$? $P \uparrow$ ou $P \downarrow$?). Em seguida, pode-se explorar os limites de validade das grandezas, questionando se o processo de compressão ou descompressão poderia ser indefinido, tanto no campo teórico como no experimental. Nessa discussão, as restritas contribuições dos alunos devem ser enriquecidas com informações do professor.

Em síntese, esta etapa tem como objetivos a apresentação e a compreensão do fenômeno a ser estudado, do equipamento para realizar esse estudo, a identificação das variáveis a serem trabalhadas, o estudo qualitativo da relação entre elas, os seus limites de validade teórico e as restrições experimentais.

II) Problema

Após haver um consenso na etapa I, coloca-se o problema: Qual a relação entre a pressão total (P) sobre o gás ar e o volume total (V) correspondente dentro da seringa?

Nesta etapa nota-se uma enorme dificuldade da grande parte dos alunos, se não da totalidade dos mesmos, em entender o problema colocado²³. Constatamos que o maior obstáculo a esse entendimento se concentra na incompreensão da palavra relação. Por detrás da mesma está a idéia matemática de função, de fórmula, de equação, que deveria presumir um vínculo entre variáveis que, ao ser aplicada à realidade, expressaria uma lei física, ou seja, uma necessária regularidade de um fenômeno natural. Constatamos que por mais que se ponha em discussão o significado da pergunta, ponderando as noções anteriores, ela é de difícil apropriação e não faz sentido para a grande parte dos alunos - como a etapa seguinte também o demonstra -, sendo, mesmo, recalcitrante ao ensino²⁴.

III) Hipótese

Após a tentativa de superação da etapa II, propomos a etapa denominada de Hipótese. Vemo-la como uma etapa solidária com a anterior, pois a sua principal intenção instrucional é perscrutar se os alunos entenderam a pergunta.

Em nossas investigações verificamos significativas dificuldades dos alunos em superar esta etapa²⁵. Isto se constata quando se solicita aos estudantes a formulação de algumas hipóteses para serem testadas. Sem que o professor comece sugerindo uma delas, o silêncio total na sala de aula é a

²³ O que é verificado pelo completo silêncio das classes observadas ou da dificuldade em extrair uma razoável resposta, como se verá na etapa III.

²⁴ Esta verificação foi obtida ao aplicarmos o mesmo formato de pergunta a outros experimentos diferentes, mas equivalentes (por exemplo Lei de Hooke), para uma das turmas, um ano depois, após ela ter passado por várias seções de experimentos seguindo o mesmo padrão.

²⁵ Por isso, e pela imbricação desta etapa com a anterior, fica mais firmemente assegurada, então, a afirmação emitida de que, para os alunos, o problema colocado está longe de ser diretamente compreendido, mesmo após a diligência para aclará-lo, por meio de um discurso mais univocal, feito pelo professor antes desta etapa.

única “resposta” à sua solicitação. A dificuldade fica patente quando se nota que mesmo a partir desta ação o entendimento dos alunos a respeito da etapa está longe de fazer parte dos seus repertórios, sendo, portanto, um pré-requisito com o qual o professor não pode contar. Vemos isto na medida em que o professor dá como sugestão a relação matemática na forma $P.V = k$ (onde k é explicado que é uma constante) e pede para que os alunos formulem outras hipóteses diferentes, ou, dito de outra forma, solicita-lhes que formulem outras hipóteses, caso a exemplificada se mostre não verdadeira, no decorrer do experimento. Novamente, constatamos que o silêncio é o que impera na classe. Consegue-se certos avanços, quando o professor vai apresentando outras possibilidades como ($P.V^2 = k$, $P^2.V = k$, $P.\sqrt{V} = k$, $e^P.V = k$ etc.) e solicita aos alunos para imaginarem outras diferentes. Contudo, nota-se que outras particulares complicações começam a surgir, e que precisam ser imediatamente superadas, quando os alunos explicitam sugestões do tipo $P + V = k$, $P/V = k$, ou, ainda, quando propõem formulações, por exemplo, do tipo $P = k/V$ ou $P = k/V^2$, já sugeridas no formato $P.V = k$ e $P.V^2 = k$, que, para eles, são distintas, mas que, de fato, são apenas modificações matemáticas umas das outras. Como se vê por essas respostas encontradas, há problemas de base formativa, envolvendo desde o entendimento de análise dimensional, de não inteligibilidade, ainda a esta altura, do fenômeno, pois, no caso das relações diretas entre as grandezas, tem-se uma impossibilidade física, até, por fim, conhecimentos operacionais matemáticos.

Além disso, um outro entrave grave por nós encontrado, que está intrinsecamente correlacionado aos comentários na etapa II, refere-se à constante k . Por parte dos estudantes, é comum não se ter uma clara idéia sobre a natureza e o significado físico das constantes e parâmetros. Ou seja, não há nítida diferenciação entre a qualidade do que é uma variável (P ou V) e do que é uma constante (k) interpostas nas expressões das leis e teorias científicas²⁶.

A literatura da área adianta outros adicionais motivos que levam esta etapa a ser complicada para os aprendizes. Por exemplo, em Matthews (1994: 147), existe a advertência de que não é um processo direto, nem suficientemente simples, a interpretação e o teste de hipóteses²⁷, devendo-se esperar, como corroborado pelas nossas próprias observações, que a invenção de hipóteses é uma tarefa complexa para os alunos (Chinn & Brewer 1993: 35), principalmente, as do tipo legal, que aqui estamos enfocando, que são mais abstratas (Wenham 1993: 234).

Arriscamo-nos a afirmar, sustentados em Jenkins (2000: 607), que, na procura para entender um fenômeno, muitos estudantes não apresentam uma inteligível diferenciação entre o significado

²⁶ O trabalho de Cudmani et al. (1995) já adverte que mesmo entre estudantes do ciclo básico universitário não é claro que, na física, há constantes muito diversas e que elas são empregadas para designar valores com muitas categorias diferentes, na construção das teorias físicas. São citadas diversas dificuldades: não discriminação entre constantes físicas universais (constante gravitacional, permissividade elétrica ou permeabilidade magnética, constante de Planck etc.) e valores constantes que representam propriedades específicas de um elemento ou substância (densidade, índice de refração, calor específico etc.), ou entre estas e as que são características de um determinado sistema físico (resistência de um condutor, constante elástica de uma mola etc.); não percepção de que existem constantes independentes do observador (como as antecedentes), enquanto há outras que podem ser controladas (condições iniciais e de contorno). O trabalho também observa que os estudantes tomam o termo constante como absoluto, não fazendo, em geral, uma análise cuidadosa das condições que impõem as suposições do modelo que se trabalha e nem os limites de validade do marco teórico de referência. Propriamente a respeito disso, Ryder e Leach (2000) descobriram que muitos estudantes europeus do final do ensino médio e do primeiro ano universitário dão pouca ênfase ao papel do modelo na interpretação dos dados experimentais. Ainda, para Cudmani et al. (1995), os estudantes têm dificuldade em compreender o significado do termo constante de proporcionalidade (em relação à proporcionalidade e seus problemas ver também Chin (1992)), realizando uma análise puramente formal, por meio do manejo das expressões como meros algoritmos de cálculo (como vemos no texto esse manejo não se encontra completo, para muitos estudantes, caso de expressões matematicamente equivalentes sendo consideradas como distintas) e que dificilmente diferenciam uma constante, característica de um sistema, de um parâmetro (p. 239-240).

²⁷ Ver mais sobre isto na etapa V.

de uma hipótese científica e o que é proposto por eles como explicação. Avançando nesta pretensão, agora, inspirados em Piaget (1987), podemos de forma complementar dizer que, mesmo para a faixa etária observada, parece haver uma falta de compreensão de que uma hipótese insere-se dentro da natureza cognitiva do “possível” e não daquilo que é “necessário” (ibid.). Em oposição à segunda, a primeira natureza encontra-se associada ao processo mental de formação das possibilidades, de um conjunto de uma totalidade ilusória, sem fronteiras, de possíveis, ou seja, da abertura para novos possíveis que o sujeito deve descobrir (ibid.: 51 e 53).

À vista disso, pela não consolidada compreensão de que uma hipótese apresenta natureza provisória e que ao passar pelo teste empírico pode ter a sua natureza transformada da esfera dos possíveis para a dos necessários, imaginamos haver um obstáculo cognitivo a ser superado nesta etapa. Mais especificamente, a etapa de formulação de hipóteses vê-se prejudicada, caso o aluno não esteja de posse da competência cognitiva em que a marca de um raciocínio hipotético acha-se na ponderação entre um pensar nas possibilidades e um pensar na necessidade, em que este último é buscado entre os primeiros. Possibilidades que, no caso, são inerentemente matemáticas, pertencentes ao domínio das idealizadas e diversificadas funções matemáticas, que estabelecem relações entre grandezas físicas, corporificadas em equações ou fórmulas. Mas, as possibilidades, ao tentar coordenar os observáveis se vêm confrontadas com o real e, por transformação operatória cognitiva, acabam por estabelecer uma lei física necessária. Em resumo, esta coordenação lógica entre possível e necessário, matemática e lei, real e ideal, além dos outros pontos levantados, são nós intelectuais não facilmente ultrapassados pela grande maioria dos aprendizes, num reduzido momento de instrução, e parecem ser objeto não só de uma constante mediação do professor, mas, igualmente, de uma maturidade de pensamento que se vai ganhando com tempo.

IV) Plano de Trabalho

Esta etapa é dedicada a voltar a atenção dos alunos às ações manuais que deverão ocorrer para que a pergunta seja respondida, ou seja, para que a primeira hipótese - no caso, a que o professor quer provar e que os alunos devam estar concentrados ($P.V = k$) - seja testada. Assim, travam-se discussões do professor com os estudantes, baseadas na seguinte questão que pode ser colocada nestes termos: *O que eu devo fazer, “com as mãos”, para responder o problema? Ou/e: O que fazer na prática para testar a primeira hipótese?*

A principal intenção da proposta, com perguntas deste tipo, é observar se os alunos entenderam as etapas II e III. Para isso, o professor questiona o que deve ser medido e como medir. Estabelecido que são os volumes e as pressões as medidas que devem ser realizadas²⁸, passa-se, então, à discussão de “como” medir essas grandezas. Aqui vários problemas surgem e que precisam ser superados, onde destacamos os principais e mais corriqueiros²⁹: para muitos alunos não é fácil utilizar a escala volumétrica da seringa hipodérmica e, portanto, precisam ser ensinados a lê-la; os alunos devem avaliar as medidas entre duas escalas da menor divisão e não simplesmente arredondá-las ou aproximá-las, como, de forma geral, se constata; todas as medidas de volume devem ser feitas de maneira relativamente rápidas para evitar vazamentos, o que os alunos não estão em geral conscientes. De maior complicação, mas rico em discussão conceitual, tem-se a medida da pressão. Para isso, deve-se saber como determinar a pressão do gás. Portanto, discussões sobre

²⁸ Aparentemente, tal procedimento parece ser redundante, mas, de fato, não o é, pois, devido à multiplicidade de discussões das etapas precedentes que podem ocorrer, muitos alunos perdem de vista ou precisam ser lembrados a respeito das questões envolvidas com as etapas II e III e que são necessárias para realizar, com compreensão, esta etapa IV, como todo o processo.

²⁹ Muitos desses problemas extrapolam o particular exemplo aqui explicitado.

como medir a força exercida por um tijolo devem ser colocadas e calculadas, bem como, que área está envolvida com a determinação da pressão, e como fazer para medi-la³⁰. Como acréscimo a estas questões, o professor deve chamar a atenção para a presença da pressão atmosférica de fundo, geralmente não percebida espontaneamente pelos alunos para compor a pressão³¹, como, também, do desprezo, ou não, do sistema êmbolo no cálculo dessa composição.

Nesta etapa, observa-se, igualmente, a importância do professor realizar com os alunos as primeiras medidas do experimento como forma de exemplificação, pois, com tal procedimento, eles ganham segurança para operacionalizar (como fazer) novas medidas, dando-lhes oportunidade de sanar dúvidas que, durante a discussão, não conseguiram ser dirimidas. Da mesma forma, viu-se a necessidade de orientar e mostrar a organização da coleta de dados por meio de tabela, em cujas colunas devem constar, “ordenadamente”, os volumes e as pressões, que serão utilizadas na etapa V.

Além das dificuldades anteriores, mais algumas podem ser mencionadas. Uma, extremamente fundamental, porquanto permanece subjacente a qualquer atividade deste tipo, tem haver com a completa falta de entendimento do número mínimo necessário de medidas a serem realizadas, questão que deixamos para examinar na etapa abaixo. De forma resumida, outras dizem respeito ao uso de um sistema coerente de unidades, a notável dificuldade enfrentada pelos sujeitos em trabalhar com grandes números, com Algarismos significativos, com a falta de conhecimento e experiência na avaliação da ordem de grandeza e em visualizar a faixa de dados a serem tirados, com as condições de contorno que influenciam ou envolvem o equipamento, entre outros menos destacáveis. Como ordinariamente é possível constatar, os alunos não gozam de grande vivência nesses temas.

V) Análise de Dados³²

Terminada a etapa mais operacional de coleta e organização dos dados, a etapa que agora se coloca caracteriza-se por várias complicações que são intransponíveis pelos alunos, caso não haja uma intervenção direta do professor por meio de um discurso mais univocal. O primeiro grande impasse que notamos aparece no momento em que se põe a classe toda de frente dos dados coletados pelas equipes e questiona-se, a partir destes, como fazer para responder o problema inicial da etapa II, ou melhor, como saber se a hipótese escolhida na etapa III é a válida. Constatamos que os alunos ficam passivos diante dessas perguntas, mesmo havendo provocações no sentido de que

³⁰ Para a medida da área, que deve ser a do êmbolo sobre o gás, sugere-se que se pegue o volume máximo da seringa de 20 ml e meça-se a sua altura e, por geometria de um cilindro, tire-se a área. Para se ganhar tempo, este valor e muitos outros (por exemplo, a massa dos tijolos) podem ser fornecidos pelo professor, mas não deixados de discutir. Outra sugestão para se otimizar o tempo é na aula teórica, que trata do conceito de pressão, fazer-se discussões e exercícios práticos para a determinação das pressões dos tijolos sobre o gás na seringa e utilizar esses valores na aula experimental de investigação aqui esmiuçada.

³¹ Esta consciência é passível de ser despertada quando se põe em debate a situação inicial de máximo volume (20ml), em que não há tijolo algum. Inclusive, uma rica e interessante discussão complementa o debate quando se questiona se a pressão atmosférica pode ser desprezada em relação à dos tijolos.

³² As referências problemáticas desta etapa vão além dos alunos de ensino médio focalizados até este momento. Em investigações preliminares que vimos paralelamente desenvolvendo, com licenciandos do curso de Instrumentação para o Ensino de Física, descobrimos que alguns dos comentários que emitiremos se aplicam até mesmo a estudantes universitários (ver também mais à frente Allie et al. (2001)), principalmente os referentes a extrair uma conclusão de um conjunto de dados de uma tabela, conforme o texto.

procedam a uma análise tanto gráfica quanto através de tabela, em seguida realizada por eles, por solicitação do professor³³.

Grande parte de tal passividade é fruto de várias dificuldades dos alunos para proceder tais análises. Asseguramos isso, na medida em que o professor solicita à classe que responda às perguntas anteriores, utilizando os dados de uma equipe, conforme tabela abaixo. Quase cem por cento dos alunos da nossa amostra³⁴ respondem que o produto P.V não é constante, pois os dados não são numericamente semelhantes.

P.V (Nm ³)	1,86	1,86	1,90	1,93	1,91	1,88
---------------------------	------	------	------	------	------	------

Tabela: exemplo de resultados encontrados por um grupo

Ora, como se pode compreender esse resultado? Obviamente, um conjunto de conceitos deverá estar presente para que se supere, de maneira satisfatória, a resposta dada, inclusive, idéias que deverão estar necessariamente associadas às cobcações mencionadas na etapa II. Então, vejamos. Obviamente, uma simples análise gráfica, no caso, plotar a pressão pelo volume (PxV), não possibilita uma identificação da curva, assim como, uma leitura crua dos dados da tabela acima não fugirá da resposta padrão dos alunos. Como é sabido, qualquer curva pode ser imaginada passando pelos pontos e suas barras de erro, ou, como em outras palavras diz Garrison (*apud* Matthews 1994: 140): para um conjunto de pontos experimentais sobre um gráfico, qualquer número de curvas pode ser desenhado sobre eles. Desta forma, para qualquer conjunto de dados, inúmeras teorias que impliquem naqueles dados podem ser construídas. Por exemplo, o que vai determinar uma reta passando por um conjunto de pontos plotados, no caso, da pressão em função do inverso do volume (Px1/V), e não um conjunto de pontos ligados ponto a ponto, em ziguezague, é o modelo teórico (Sandoval 1990: 66-69)³⁵, o mesmo se aplicando para que a mencionada tabela seja vista como apresentando uma flutuação experimental em torno de um valor considerado constante. Adicionalmente, coloca-se a questão da continuidade dos fenômenos físicos, logo, da interpolação e extrapolação de dados, que acrescenta exigências de simplicidade e de menores imposições sobre o comportamento do sistema, do que uma curva ou uma função mais complicada exigiria (*opus cit.*).

Em referência aos modelos teóricos, Ryder & Leach (2000) advertem que uma minoria de estudantes universitários e secundários investigados por eles, enfatizam o papel dos modelos na interpretação dos dados. Aliás, respectivamente à citada flutuação experimental, noção central para justificar uma interpretação da constância da tabela ou, para o caso gráfico, do traçado da melhor reta possível, apesar dos valores não serem os mesmos na tabela, ou dos pontos não estarem sobre a reta no tratamento gráfico, vimos junto aos nossos alunos, conforme confirmam os trabalhos de Coelho (1993) e Lubben & Millar (1996), que essa idéia de flutuação em torno de um valor médio é de custosa apropriação pelos alunos do ensino médio, chegando até ser de difícil compreensão para um considerável número de alunos universitários do primeiro ano, como se pode verificar pela investigação de Allie et al. (2001). Nesses casos, existem grandes resistências em imaginar, por exemplo, que a tabela acima deve ser representada segundo uma perspectiva constante, pois, em razão do que foi dito anteriormente, e por ela não sistematicamente crescer ou decrescer³⁶, há um

³³ Solicitação até mesmo necessária para dar continuidade ao processo.

³⁴ E de muitos universitários, conforme penúltima nota.

³⁵ Devemos lembrar que há situações em que a decisão entre funções ou a especificação do modelo teórico tem, na teoria de erros, uma grande ajuda na comparação entre diferentes modelos na interpretação dos dados (Vuolo 1992: 38; Vanim & Helene 1991: 87).

³⁶ Como seria a situação de uma outra hipótese qualquer escolhida, por exemplo do tipo $P.V^2 = k$, que poderia ser explicitada e comparada para os alunos.

número médio que deveria ser imaginado nas flutuações. Como mostram Lubben & Millar (1996), muitas crianças, quando acostumadas a fazer trabalhos experimentais, não sabem porque calculam médias, reforçando a conclusão de Allie et al. (2001), que uma quantidade significativa de estudantes não vêem a necessidade de fazer mais do que uma medida, pois cada medida é independente da outra, sendo elas exatas, por si sós, sem precisar ser combinadas de nenhuma maneira.

Dentro dessa discussão, coloca-se, igualmente, o problema tocado do número mínimo de medidas e a razão do porquê não é sensato realizar apenas uma, duas ou três medidas, e que ao se solicitar a extração de cinco ou mais medidas, está-se a aumentar o grau de confiabilidade na resposta e minimizando, conforme se aumenta o número de medidas, a influência devida às flutuações estatísticas dos erros experimentais.

Como última observação, diversa dos problemas conceituais explicitados, é possível ter situações em que a recalcitrância à interpretação dos dados é devida ao campo lógico. Assim como em Piaget & Inhelder (1976: 49), em experimentos de investigação que envolvem o controle de diversas variáveis para verificar a variável dependente (por exemplo no estudo da dependência do período de um pêndulo físico com o comprimento, a amplitude e a massa), identificamos casos tardios (ibid.: 55) de alunos que variam simultaneamente duas variáveis (p. ex., amplitude ou massa e simultaneamente o comprimento) e concluem que a influência na variável controle (o período, no exemplo) foi devida à alteração da variável errada (p. ex., amplitude ou massa e não por causa do comprimento), por insuficiência cognitiva, denominada por Piaget & Inhelder (opus cit.) de “dissociação dos fatores e exclusão dos fatores inoperantes”.

VI) Conclusão

Esta etapa VI é um momento da aula onde o professor propõe uma série de questões escritas para que os estudantes pensem, reflitam e dêem mais atenção á prática realizada, e que podem ser coletivamente discutidas, no final da atividade, como fechamento da mesma.

Desta forma, a primeira e principal questão que deve ser colocada é a que trata da resposta do Problema da etapa II. Na nossa maneira de ver, espera-se que haja pelo menos uma análise coerente à luz dos resultados encontrados, não obstante a provável existência de grupos com resultados negativos, ou seja, com medidas que não apresentam flutuação, devido a problemas experimentais, como vazamento, por exemplo. Assim, a critério do professor, um resultado em que os produtos P.V sistematicamente diminuam seria didaticamente positivo, na medida em que alunos concluam autonomamente, a partir dos dados, que a hipótese testada foi invalidada. Finalmente, é possível avançar nessa conclusão, incitando um debate sobre as possíveis razões desses resultados negativos, divergentes dos encontrados pela maioria dos grupos. Aqui é sugestivo lembrar o que Cudmani & Sandoval (1991: 200) comentam, ou seja, que a solução de um dado problema não é única, pois exige que argumentos diferentes sejam avaliados e que as decisões sejam tomadas sem toda a informação necessária que só o professor desfruta. Essa falta de resposta única representa uma forma de desafio capaz de promover a investigação para o estudante.

Outras perguntas a serem propostas, que valeriam para uma gama variada de experimentos, poderiam tratar dos limites de validade teóricos e experimentais (ou seja, para a situação que estamos exemplificando: A relação P.V valeria indefinidamente?) ou da interpolação e extrapolação de alguns dados específicos não medidos (p. ex., qual o volume de um e meio tijolo ou de 10 tijolos). Outras perguntas mais específicas, próprias ao experimento e equipamento especificados aqui,

poderiam questionar sobre os possíveis locais de vazamentos, e se, nesse caso, ao final das medidas, o volume inicial deveria ter-se mantido o mesmo. O atrito do êmbolo influencia nas medidas de pressão? Porque a transformação foi considerada isotérmica? Dada a constante universal dos gases, a temperatura do laboratório, pede-se para determinar o número de moléculas contidas na seringa. Ou, então, pode-se propor a mesma questão, só que mais aberta, simplesmente pedindo esse número, o que levaria a uma produtiva discussão coletiva em que se buscariam as informações necessárias para obter-se a resposta (para estas últimas importantes perguntas há a possibilidade de se voltar a discussão, novamente, de qual produto P.V utilizar da tabela). Como uma última sugestão, poder-se-ia pedir para que os alunos avaliassem numericamente que força em Newtons eles estariam produzindo com a sua palma da mão, para deixar o gás comprimido num pequeno volume (p. ex. 2ml)³⁷.

Conclusões

Como vimos, um grande número de problemas conceituais, experimentais, matemáticos, cognitivos, de habilidades manuais, alguns diretamente observados por nós e diversos outros obtidos da literatura, são esperados e certamente comprometem uma proposta muito aberta para o laboratório didático, em que se esperaria uma relação de pouca dependência e autonomia de um aluno mais “pesquisador” e um professor mais “orientador”.

Sem desconsiderar um processo educacional que dê grande importância ao discurso dialógico, que passe pelo levantamento prévio das idéias dos alunos ou da inexistência das mesmas, faça com que os estudantes tomem consciência dos problemas que surgirão na atividade, onde eles possam levantar e discutir criticamente as suas dúvidas, como também, mas, principalmente, solucioná-las, e neste momento, está-se a enfatizar a univocidade do processo discursivo, obstáculos de grande monta dificilmente serão ultrapassados e a atividade poderá deixar de cumprir os seus objetivos iniciais, sobretudo se considerarmos as condições de contorno de ensino normalmente existentes nas escolas.

As reflexões desenvolvidas não pretendem negar a relevância pedagógica de dar oportunidade para que os aprendizes empreendam suas próprias investigações ou trabalhem autonomamente com questões levantadas por elas próprias, em ocasiões do processo pedagógico. Nisso, estamos de acordo com Saint-Onge (2001: 170) quando comenta que os alunos têm que fazer trabalhos em que não só os problemas a resolver não são explicitados, mas, também, as etapas a transpor não são claras ou são pouco controladas. O que se tentou ponderar é que uma investigação fixada, “*stricto sensu*”, nesses traços, onde o professor apenas forneça indícios, sem que muitas vezes defina os critérios aceitáveis etc., pode se mostrar insuficiente e levar a inúmeras barreiras, que se não superadas pela intervenção imediata do professor, vão comprometer os objetivos curriculares a serem alcançados.

A metodologia por investigação serve a determinados interesses pedagógicos e didático-experimentais, tal como, o estímulo ao teste de hipóteses, que leva em conta regularidades empíricas, estando orientada por situações problemáticas, sempre inserida numa atividade coletiva de reflexão crítica. Porém, o laboratório didático, no seu sentido mais “*lato sensu*”, excede esse e outros interesses experimentais e pedagógicos. Nisso, Gott & Mashiter (1994: 188) nos lembram que as atividades de laboratório variam em ênfase, indo desde um trabalho concentrado mais em

³⁷ A seringa apropriada para esta questão seria uma seringa de plástico, com volume equivalente á de vidro, ou seja, de 20ml. A seringa de vidro não é apropriada neste caso, pois a alta pressão que pode ser aplicada com a mão, produz um vazamento demasiado, fazendo com que se esvazie totalmente a seringa.

habilidades ou destrezas, junto a conceitos bem conhecidos, até, pelo contrário, quando estes últimos não são bem conhecidos, à necessidade do desenvolvimento de uma didática mais tradicional, antes que situações de natureza investigante sejam propostas. Portanto, compreendemos que um tratamento didático no laboratório escolar não precisa ter e, muitas vezes, nem é conveniente que tenha todo o tempo, atividades orientadas numa perspectiva exclusiva. Seguramente, estratégias adequadas para investigação não são para o caso de demonstração, para comparar ou ajustar resultados teóricos já conhecidos com empíricos, para experimentos tratados como aplicação, ilustração ou verificação de teorias ou simplesmente da aprendizagem, para determinação de constantes ou grandezas em geral, para apresentação ou desenvolvimento de determinadas técnicas e habilidades experimentais, para superar muitos dos pontos específicos levantados nas etapas descritas etc..

Consequentemente, não concordamos e nem estamos aqui a defender um método exclusivo a ser usado indiscriminadamente em toda e qualquer situação de laboratório escolar, mas, pelo contrário, cada alternativa metodológica pode vir a se mostrar válida e mais eficaz (Laburú et al. 2003) quando empregada pelo professor na utilização de determinadas atividades experimentais, em objetivos pedagógicos e curriculares específicos.

A multiplicidade de dimensões que foram discutidas na tentativa de aplicar a metodologia de investigação, varia com a situação problema estudada. Todavia, imaginamos ter assinalado algumas mais importantes e comuns, mas, acima de tudo, procuramos mostrar a complexidade natural de uma proposta neste sentido, explicitando a necessidade de uma inter-relação das suas várias etapas.

Finalmente, o principal desafio é conseguir que o professor concilie um conveniente ponto de ponderação entre um encaminhamento que objetive tornar os aprendizes mais independentes e autônomos “a la” Gil e colaboradores, meta legítima de todo ensino contemporâneo, e o auxílio mais direto aos alunos, objetivando o desenvolvimento curricular mínimo necessário, consideradas as condições de contorno comumente defrontadas nas escolas. Talvez, a nossa proposta possa vir a ser convenientemente entendida e empregada como um estágio intermediário entre o criticado ensino que leva a uma total submissão intelectual e dependência do aluno ao instrutor, caso do laboratório estilo “livro de receitas”, e o dos que incentivam uma autonomia reflexiva e independência de aprendizagem do aluno.

Referências

- ABRANTES, P. *Epistemologia e cognição*, editora UnB, Brasília, 1993.
- ALLIE, S. ET AL. First year physics student's perceptions of the quality of experimental measurements, *International Journal of Science Education*, 20, 4, 447-459, 1998.
- ARRUDA, S. M. & LABURÚ, C. E. Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências. *Questões Atuais no Ensino de Ciências*. Série: Educação para a Ciência, Editora Escrituras, SP, 2, 53-69, 1998.
- ARRUDA, S. M., SILVA, M. R & LABURÚ, C. E. Laboratório didático de física a partir de uma perspectiva kuhniana, *Investigações em Ensino de Ciências*, endereço eletrônico: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol 6/n1/14indice.htm>, 6, 1, 1-9, 2001.
- AUSUBEL, D. P. *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*, México, Trillas, 1978
- BAILIN, S. Critical thinking and science education, *Science & Education*, 11, 361-375, 2002.

- BAIRD, J. R.; FENSHAM, P. J.; GUSTONE, R. F. & WHITE, R. T. The importance of reflection in improving science teaching and learning, *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 2, 163-182, 1991.
- CHIN, Y. K. Meaningful understanding of direct proportionality and consistency across different tasks among preservice science teachers, *International Journal of Education*, 14, 3, 237-247, 1992.
- CHINN, C. A. & BREWER, W. F. The role of anomalous data in knowledge acquisition: a theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1, 1-49, 1993.
- COELHO, S. M. *Contribution a l'etude didactique du mesurage en physique dans l'enseignement secondaire: description et analyse de l'activite intellectuelle et pratique des eleves et des enseignants*, These de Doctorat, Université de Paris, 1993.
- CUDMANI, L. C. & SANDOVAL, J.S. Modelo físico e realidade. Importância de sua adequação quantitativa. Implicações para a aprendizagem, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 8, 3, 193-204, 1991.
- CUDMANI, L. C., SANDOVAL, J. S. & DANON, M. P. Distintos tipos de constantes en física y aprendizaje significativo de la disciplina, *Enseñanza de las Ciencias*, 13, 2, 237-248, 1995.
- CUPANI, A. *A crítica do positivismo e o futuro da filosofia*, Florianópolis, Editora da UFSC, 1985.
- DRIVER, R. *The pupil as scientist?* Milton Keynes, Open University Press, 1983.
- DRIVER, R., NEWTON, P. & OSNORNE J. Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms, *Science Education*, 84, 287-312, 2000.
- FUNBEC, *Subsídios para a implementação da proposta curricular de física par o 2º grau*, Volume IV, Terminologia, São Paulo, Secretaria de Estado da Educação, Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas, 1979.
- GARCÍA, J. J. G. La solución de situaciones problemáticas: una estrategia didáctica para la enseñanza de la química, *Enseñanza de las Ciencias*, 18, 1, 113-129, 2000.
- GIL, D. & CARRASCOSA, J. Science learning as a conceptual and methodological change, *European Journal of Science Education*, 7, 3, 231-236, 1985.
- GIL, D. La metodología científica y la enseñanza de las ciencias. Unas relaciones controvertidas, *Enseñanza de las Ciencias*, 4, 2, 111-121, 1986.
- GIL, D.; TORREGROSA, M. J. & PÉREZ, S. F. El fracaso en la resolución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, 2, 131-146, 1988.
- GIL, D, CARRÉ, A. D., CAILLOT, M., TORREGROSA, M. J. & CASTRO, L. R. La resolución de problemas de lápiz e papel como actividad de investigación, *Investigación en la Escuela*, fundamentos, 5, 3-20, 1988a.
- GIL, D. & CASTRO, V. P. La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14, 2, 155-163, 1996.
- GOTT, R. & MASHITER, J. Practical work in science. A task-based approach? *Teaching Science*, edited by Ralph Levison at The Open University, Routledge, London and NY., 1994.
- HELENE, O. A. M. & VANIN, V. R. *Tratamento estatístico de dados em física experimental*, 2ª edição, Editora Edgard Blucher Ltda., São Paulo, 1991.
- HODSON, D. Philosophy of science, science and science education, *Studies in Science Education*, 12, 25-57, 1985.

- HODSON, D. A critical look at practical work in school science, *School Science Review*, 70, 33-40, 1990.
- HOWE, A. C. Development of science concepts within a Vygotskian framework. *Science Education*, 80, (1), 35-51, 1996.
- JENKINS, E. W. Constructivism in school science education: powerful model or the most dangerous intellectual tendency?, *Science & Education*, 9, 599-610, 2000.
- JOBIM E SOUZA, S. & KRAMER, S. (O debate piaget e vygotsky e as políticas educacionais, *Cadernos de Pesquisa*, Fundação Carlos Chagas, São Paulo, 77, 69-80, 1991.
- KIRSCHNER, P. A. Epistemology, practical work and academic skills in science education, *Science & Education*, 1, 273-299, 1992.
- KOYRÉ, A. *Estudos do pensamento científico*, Forense Universitária, 2ª edição, São Paulo, SP, 1991.
- KUHN, D. (1993). Science as argument: implications for teaching and learning scientific thinking, *Science Education*, 77, 3, 319-337.
- LABURÚ, C. E. La crítica en la enseñanza de las ciencias: constructivismo y contradicción, *Enseñanza de las Ciencias*, 14, 1, 93-101, 1996.
- LABURÚ, C. E. ARRUDA, S. M. & NARDI, R. Por um pluralismo metodológico para o ensino de ciências de ciências, *Ciência & Educação*, 9, 2, 247-260, 2003.
- LAKATOS, I. *The methodology of scientific research programmers*. Philosophical Papers Volume 1. Cambridge University Press, 250p., 1978.
- LANCIOTTI, J. S. *Las prácticas de física básica en laboratorios universitarios*. Tesis doctoral, departament de Didàctica de les Ciències Experimentals, Universitat de València, Espanha, 1994.
- LEACH, J. Students` understanding of the co-ordination of theory and evidence in science, *International Journal of Science Education*, 21, 8, 798-806, 1999.
- LEITÃO S. Argumentação como processo de construção do conhecimento. In: II Encontro Internacional Linguagem, Cultura e Cognição: Reflexões para o Ensino, UFMG, Belo Horizonte, MG, 2003, CD-ROM, 26 p., 2003.
- LIANKO, A. A. Investigative laboratory - (I-Labs) as a high school science elective, *Toward Scientific Literacy, HPSST Conference Proceedings*, Faculty of Education, University of Calgary, 485-492, 1999.
- LUBBEN, F. & MILLAR, R. Children's ideas about the reliability of experimental data, *International Journal of Science Education*, 18, 8, 955-968, 1996.
- MATTHEWS, M. R. *Science teaching. The role of history and philosophy of science*. Philosophy of Education. Research Library. Routledge. Cortez Editor. NY, 1994.
- MICHELS, P. B. (The role of experimental work, *American Journal of Physics*, 30, 172-178, 1962.
- MILLAR, R. Towards a role for experiment in the science teaching laboratory, *Studies in Science Education*, 14, 109-118, 1987.
- MILLAR, R. What is 'scientific method' and can it be taught? *Teaching Science*. Edited by Ralph Levinson at the Open University. Routledge, London and New York, 164-177, 1994.
- MOREIRA, M. A. A non-traditional approach to the evaluation of laboratory instruction in general physics courses, *European Journal of Science Education*, 2, 441-448, 1980.
- MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa*, Brasília, DF, Editora Universidade de Brasília, 1999.

- MORTIMER, E.F. & MACHADO, A.H. Anomalies and Conflicts in Classroom Discourse. *Science Education*, 84: 429 – 444, 2000.
- NOLA, R. Constructivism in science and science education: a philosophical critique. *Science & Education*, 6, 1-2, 55-83, 1997.
- OGBORN, J. Constructivist metaphors of learning science. *Science & Education*, 6, 1-2, 121-133, 1997.
- OLIVEIRA, M. K. Vygotsky: alguns equívocos na interpretação de seu pensamento, *Cadernos de Pesquisa*, Fundação Carlos Chagas, São Paulo, 81, 67-74, 1992.
- OLIVEIRA, M. K. *Vygotsky, aprendizado e desenvolvimento. Um processo sócio-histórico*. Série Pensamento e Ação no Magistério. Editora Scipione, São Paulo, SP, 1993.
- OSBORNE, J.F. Beyond constructivism, *Science Education*, 80, 1, 53-82, 1996.
- PIAGET, J. O possível, o impossível e o necessário. In: Luci Banks Leite (org.) e Ana Augusta de Medeiros (colab.). *Piaget e a escola de genebra*, Cortez Editora, São Paulo, SP, 1987.
- PIAGET, J. & GARCIA, R. *Psicogênese e historia de la ciencia*, Siglo Veintiuno Editores, 2ª edición, México, 1984.
- PIAGET, J. & INHELDER, B. *Da lógica da criança à lógica do adolescente*, São Paulo, Editora Pioneira das Ciências Sociais, 1976.
- PONS, J. A. M. Un problema planteado como actividad de investigación: estudio de las posibles trayectorias para el lanzamiento efectivo de un tiro libre de baloncesto, *Enseñanza de las Ciencias*, 18, 1, 131-140, 2000.
- POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W. & GERTZOG, W. A. Accommodation of scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, New York, 66, (2), 221-227, 1982.
- REGO, T. C. *Vygotsky, uma perspectiva histórico-cultural da educação*. Editora Vozes, 6ª Edição, Petrópolis, RJ, 1994.
- RYDER, J. & LEACH, J. Interpreting experimental data: the views of upper secondary school and university science students, *International Journal of Science Education*, 22, 10, 1069-1084, 2000.
- SANDOVAL, J.S. Las experiencias de búsqueda de relaciones entre magnitudes como herramientas para incorporar al aula aspectos de la metodología de la investigación científica, *Revista de Ensino de Física*, 12, 59-77, 1990.
- SANDOVAL, J. S. & CUDMANI, L. C. Los laboratorios de física de ciclos básico universitarios instrumentados como procesos colectivos de investigación dirigida. *Revista de Enseñanza de la Física*, Asociación de Profesores de la Física de la Argentina, 5, 2, 10-17, 1992.
- SANTOS, W. L. P., MORTIMER, E.F. & SLOT, P. H. A argumentação em discussões sócio-científicas: reflexões a partir de um estudo de caso, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, I(1), 140-152, 2001.
- SAINT-ONGE, M. *O ensino na escola. O que é, como se faz*, Edições Loyola, São Paulo, 2001.
- SÉRÉ, M.G. Towards renewed research questions from the outcomes of the european project labwork in science education, *Science Education*, 86, 624-644, 2002.
- SIEGEL, R. The rationality of science, critical thinking and science education, *Synthese*, 80, 9-41, 1989.
- SOLOMON, J. Learning through experiment, *Studies in Science Education*, 15, 103-108, 1988.

- SOUZA, S. J. & KRAMER, S. O debate piaget/vygotsky e as políticas educacionais, *Cadernos de Pesquisa*, Fundação Carlos Chagas, SP, 77, 69-80, 1991.
- TOBIN, K., PIKE, G. & LACEY, T. Strategy analysis procedures for improving the quality of activity oriented science teaching, *European Journal of Science Education*, 6, 79-89, 1984.
- VAN ZEE, E. H. & MISTRELL, J. Reflective discourse: developing shared understanding in a physics classroom, *International Journal of Science Education*, 19, 2: 209-228, 1997.
- VILLANI, A., ARRUDA, S. M., & LABURÚ, C. E Perfil Conceitual e/ou Subjetivo? *III Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - ABRAPEC-*, São Paulo, cd-rom 18p., 2001.
- VOLOSHINOV, V. N. *Marxismo e filosofia da linguagem*, São Paulo, Hucitec, 1992.
- VUOLO, J. H. *Fundamentos da teoria de erros*. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, SP, 1992
- VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*, São Paulo, Martins Fontes, 1984.
- WENHAM, M. The nature and role of hypotheses in school science investigations, *International Journal of Science Education*, 15, 3, 231-240, 1993.
- WICKMAN, P. O. & ÖSTMAN, L. Induction as an empirical problem: how students generalize during practical work, *International Journal of Science Education*, 24, 5, 465-486, 2002.

Agradecimentos

O autor agradece as pertinentes sugestões dos pareceristas anônimos.

Recebido em: 14.11.2003

Aceito em: 15.04.2004