

O PAPEL DA MODELAGEM NO LABORATÓRIO DIDÁTICO DE FÍSICA: O QUE HÁ PARA SE APRENDER? ♦

Dominique Colinvaux^a [dominique@skydome.net]

Susana de Souza Barros^b [susana@if.ufrj.br]

^a Faculdade de Educação, Universidade Federal Fluminense

^b Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro

INTRODUÇÃO

A procura das causas da ineficiência do sistema de ensino-aprendizagem da Física data de muitas décadas. Poderíamos lembrar que, seja nos periódicos internacionais mais importantes dedicados ao ensino de Física, tais como *American Journal of Physics*, *Physics Education*, *Journal of Research in Science Teaching*, ou ainda nas publicações brasileiras da área, a busca de um ‘vilão’ centrou-se, com frequência não desprezível, na falta de atividades experimentais. O laboratório tem sido assim considerado uma espécie de ‘vareta mágica’ que faria milagres para a aprendizagem de Física, embora cada vez mais em competição com a introdução do computador em sala de aula.

É portanto recorrente o tema do laboratório escolar nas pesquisas em ensino-aprendizagem de Física. Após os inúmeros estudos das décadas de 70 e 80, hoje assiste-se a uma retomada das investigações sobre o assunto, tanto no Brasil como no Exterior. São indícios dessa tendência o aumento significativo de trabalhos sobre atividades de laboratório recentemente apresentados entre nós (por exemplo no XIV SNEF, III ENPEC, mas também na III Conferência Interamericana de Ensino de Física), assim como a realização de um amplo estudo europeu intitulado *Labwork in Science Education*¹. É de se notar, nestes novos estudos, um olhar mais crítico que enfatiza o papel do laboratório para a compreensão da ciência como um sistema de conhecimentos que gera ‘dúvidas’ e perguntas, respondendo com teorias e dados provenientes de estudos experimentais, que em confronto sistemático levam à formação de quadros teóricos coerentes e generalizáveis, permitindo a compreensão de novos fenômenos.

Se não há como duvidar do potencial oferecido pelas atividades de laboratório para um ensino-aprendizagem significativo, várias questões permanecem ainda em aberto. Destacam-se em especial as características e objetivos das atividades de laboratório, suas condições de implementação e realização, a perspectiva do professor quanto aos objetivos visados por essas atividades e, finalmente, as razões pelas quais, quando implementadas, as atividades de laboratório parecem fazer tão pouca diferença. Para nós, o laboratório representa um espaço privilegiado para a análise dos múltiplos processos de aprendizagem em física, que envolvem desde a aprendizagem propriamente conceitual a habilidades procedimentais relacionadas por exemplo com o planejamento de experimentos, testes de hipóteses etc, incluindo ainda a

♦ Apoio CNPq.

¹ Envolvendo equipes de vários países (Alemanha, Dinamarca, França, Grã-Bretanha, Grécia, Itália), o estudo foi encomendado e financiado pela European Commission entre 1996 e 1998. Além de um conjunto de Working Papers disponíveis na internet, o estudo resultou na publicação de um livro (Leach & Paulsen, 1999).

compreensão do papel da experimentação. Aqui nos interessa especialmente investigar em que medida os alunos se envolvem em processos de modelagem, entendidos como momentos privilegiados de articulação entre o fenômeno em estudo e a base teórica.

O trabalho está organizado como segue. De início, apresentamos a perspectiva teórica sobre modelos e modelagem e as questões de estudo. A seguir, descrevemos os procedimentos de obtenção e análise de dados e os resultados obtidos. A discussão final busca apontar as implicações pedagógicas decorrentes do estudo realizado.

BASE TEÓRICA: A PERSPECTIVA DE MODELOS E MODELAGEM

Como a aprendizagem da física apresenta múltiplas e variadas facetas, é necessário especificar que nossa abordagem sobre o tema se inscreve na perspectiva teórica de modelos e modelagem (Franco et al, 1999; Franco & Colinvaux, 2000; Tiberghien, 1994; Tiberghien & Megalakaki, 1995; Moreira, 1996). Nesta perspectiva, uma teoria física não se aplica diretamente às situações experimentais mas requer a intermediação de modelos envolvendo formalismos matemáticos e aspectos qualitativos relacionados ao campo experimental. Modelos físicos, então, resultam da escolha de uma teoria em relação com um campo experimental e possibilitam a elaboração de hipóteses simplificadoras sobre os fenômenos relevantes². Dito de outro modo, modelos podem oferecer caminhos e pontes que permitem articular os sistemas teóricos, de alto nível de abstração/generalização, com os sistemas empíricos, multi-variados e sempre específicos. A modelagem, por sua vez, se refere aos processos de formação e uso dos modelos físicos, que evidenciam a articulação entre os domínios teórico e experimental³. A Figura 1 situa estes elementos, evidenciando o lugar da modelagem entre os dois planos, teórico e experimental.

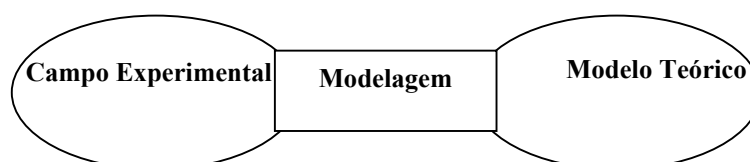


Figura 1: O lugar da modelagem

Decorre dessa perspectiva que aprender física exige que se possa relacionar ambos os planos, teórico e empírico, ou ainda, ‘o mundo das coisas e eventos’ e ‘o mundo das teorias e modelos’ (Bécu-Robinault, 1997). Esta articulação, no entanto, precisa ser especificada: em que momento(s) e de que maneira(s) os dois planos são de fato colocados em relação? No contexto do laboratório didático, os alunos podem e devem fazer uso dos modelos físicos em dois momentos principais, quais sejam: para *compreender* o problema apresentado, isto é,

² Vale a pena comentar que este não é um processo unidirecional, que partiria sempre da teoria para chegar ao fenômeno, pois envolve também o movimento oposto pelo qual a teoria é escolhida em função de características identificadas no fenômeno.

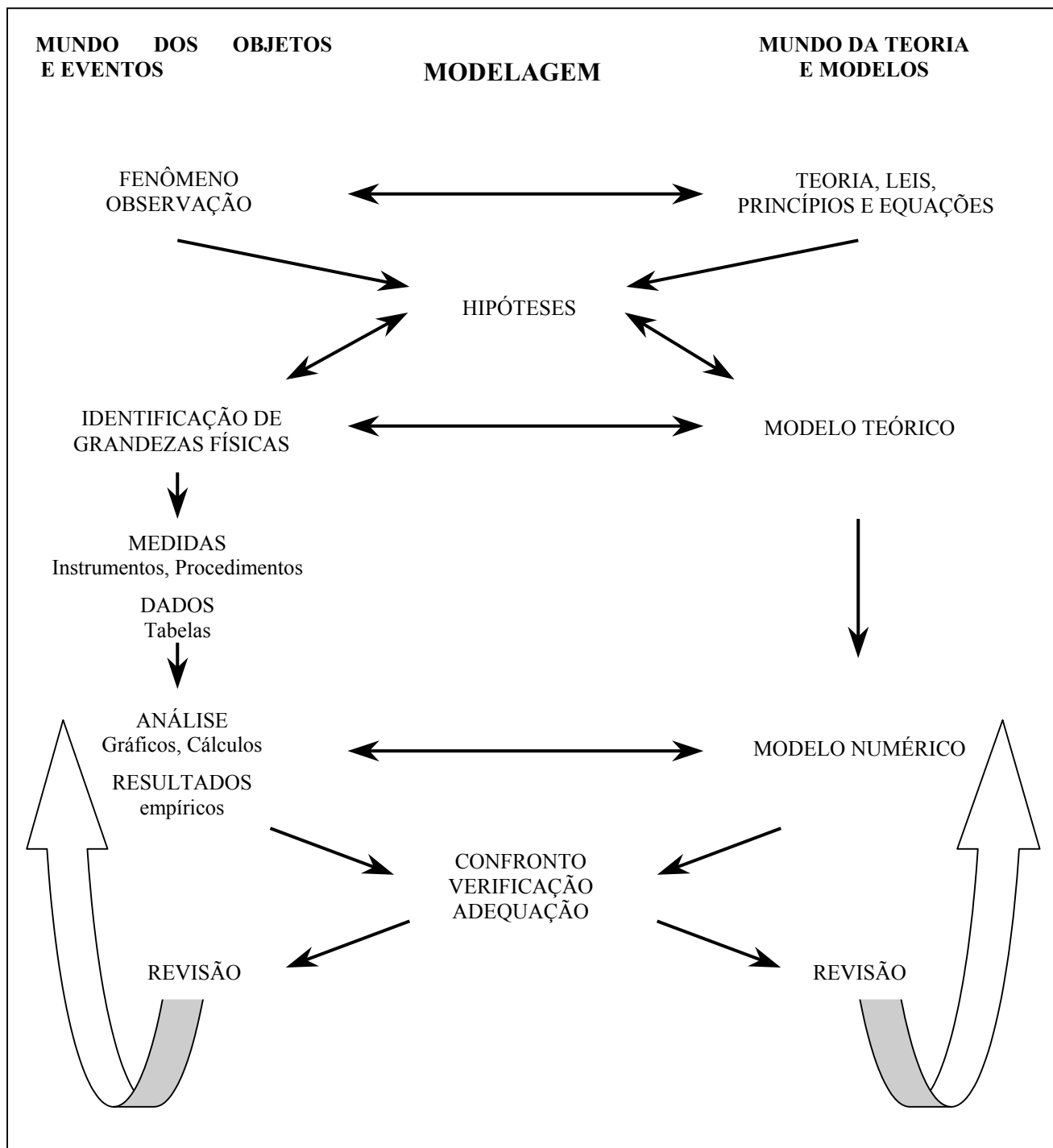
³ É interessante observar que o *V epistemológico de Gowin* (Moreira, 1990), ao descrever o processo de investigação, inclui, entre os domínios conceitual (de natureza teórica) e metodológico (voltado para a obtenção de dados experimentais), a noção de ‘interação’. Parece-nos que esta noção corresponde ao que aqui tentamos explicitar com o tema da modelagem.

identificar e fazer hipóteses sobre as grandezas físicas relevantes da situação-problema; e, em um segundo momento, para *analisar e/ou interpretar* os dados experimentais obtidos por meio de medições. Em uma descrição padrão das etapas envolvidas nas atividades de laboratórios escolares⁴, estes dois momentos situam-se respectivamente nas etapas de planejamento/design e de análise/interpretação. Mais especificamente, como tentaremos mostrar, estes dois momentos correspondem às etapas de (i) formulação de hipóteses relativas ao fenômeno, o que permitirá determinar o modelo físico a ser usado; e (ii) análise/confronto, quando os dados experimentais são cotejados com as previsões do modelo físico⁵.

Nessa perspectiva, formulação de hipóteses e análise/confronto são vistos como momentos privilegiados de articulação entre os planos empírico (mundo dos objetos e eventos) e teórico (mundo da teoria e modelos). Enquanto tal, são destacados como expressão/operacionalização de modelagem. O quadro abaixo busca sistematizar estas idéias, retomando a proposta da Figura 1 de explicitar o lugar da modelagem.

⁴ Millar (1998) discute várias concepções acerca de procedimentos de investigação científica (*procedures of scientific enquiry*), evidenciando etapas e procedimentos que incluem observação, formulação de hipóteses, realização de medidas, análise/interpretação. Também se podem encontrar descrições mais gerais: Lunetta (1998, p. 255) identifica as fases de Planejamento/design, experimento, análise/interpretação, aplicação.

⁵ Esta noção se assemelha ao que Millar (1990, apud Millar 1998) chama de “compreensão da evidência empírica: natureza e critérios para sua avaliação”.



Quadro 1: Quadro Teórico das etapas de realização de atividades experimentais de laboratório

Com base nesse quadro teórico, o presente estudo visa investigar os processos de aprendizagem da física em um contexto teórico e didático que enfatiza a modelagem, enquanto estratégia para relacionar ‘o mundo das coisas e eventos’ e ‘o mundo das teorias e modelos’. Ao focalizar a noção de modelagem, elegemos um conjunto de questões que dizem respeito a como os alunos articulam estes dois mundos. Por exemplo: qual o lugar da teoria nas atividades de laboratório desenvolvidas pelos alunos? quais os elementos teóricos escolhidos e como/por que foram escolhidos? quais os aspectos físicos efetivamente selecionados pelos alunos como relevantes para o experimento? É possível obter indícios de

que os alunos efetivamente articulam os dois mundos das coisas e eventos e das teorias e modelos? Finalmente, ao buscar acompanhar os processos de aprendizagem tais como eles ocorrem em ‘tempo real’, é possível caracterizar percursos percorridos pelos alunos na realização da tarefa proposta?

A BASE EMPÍRICA

Para abordar os processos de modelagem no laboratório escolar, desenvolvemos um estudo empírico junto a alunos calouros do Instituto de Física da UFRJ, durante o 1º semestre de 2000. Participaram 24 alunos do Curso de Graduação em Física, divididos em sete grupos (G1 a G7). Em duas sessões de aproximadamente 90 minutos cada, os alunos foram convidados a realizar a atividade de laboratório *Alcance de uma esfera*, sobre um tema da mecânica clássica (ver Anexo 1). Como se pode ver, as instruções adotam um formato aberto: apresenta-se um problema sem determinar os procedimentos que levarão à sua solução, deixando sob a responsabilidade dos alunos como planejar e realizar o experimento. A opção por esta modalidade aberta possibilita a emergência de um amplo leque de estratégias e condutas discentes, já exploradas em trabalho anterior (Colinvaux e Barros, 2000). A atividade tal como apresentada aos alunos solicitava ainda que tomassem notas sistemáticas e passo-a-passo sobre suas ações, dúvidas e decisões. Para isso, cada grupo de alunos recebeu um caderno.

Vários procedimentos metodológicos foram utilizados para obtenção de dados. São eles:

- a) vídeo-gravação de um grupo focal (G1) ao longo das duas sessões de laboratório;
- b) cadernos dos alunos, incluindo anotações avulsas em folhas separadas e/ou no roteiro de instruções;
- c) embora não serão utilizadas aqui, também foram realizadas entrevistas com os 7 grupos de alunos, ao final da tarefa, de acordo com roteiro básico que buscava recapitular e justificar o que cada grupo havia feito.

DIMENSÕES E CATEGORIAS DE ANÁLISE

A análise dos dados visa evidenciar se, quando e como os alunos se engajam em atividades de modelagem. Para tanto, foram desenvolvidas duas estratégias básicas de análise que descrevemos a seguir.

Inicialmente, buscamos descrever as principais condutas discentes na realização da tarefa. Para isso, focalizamos a videogravação que acompanha as atividades do grupo focal e recorreremos ao já mencionado estudo europeu sobre *Labwork in Science Education* (1998), que propõe uma grade de análise: CBAV (Category-based analysis of videotapes of labwork). As categorias de conduta propostas no estudo europeu incluem: LI – leitura e uso das instruções; PL – [papel & lápis] uso de papel e lápis para escrever e/ou responder à tarefa;

MA⁶ – [manipulação do equipamento] manipulando o equipamento e demais materiais inclusive para preparar tomada de medidas; ME – [medida] realização de medidas; CL – [cálculo] realização de cálculos (com máquina de calcular ou papel e lápis) para obter quantidades físicas a partir dos dados de medição. Duas outras categorias, propostas pelo estudo europeu, não foram aqui utilizadas; são elas: OA – [outras atividades] atividades não relacionadas à tarefa proposta; IT – [interação com terceiros] interação com terceiros; professor, assistente, outros alunos.

Em um segundo momento, a análise visa obter indícios de modelagem nas condutas discentes. Esta etapa de análise examina os cadernos e anotações dos sete grupos de alunos para caracterizar de que maneira os alunos fazem uso da teoria e de modelos físicos em suas anotações. Além disso, a análise busca verificar se as condutas discentes incluem de fato articulações entre observação/dados e teoria/modelos que, por definição, caracterizam as etapas de formulação de hipóteses e de confronto.

RESULTADOS

Os resultados estão organizados como segue. Começamos apresentando uma visão de conjunto das principais condutas discentes no laboratório, obtidas a partir da vídeo gravação do grupo G1, composto de 4 alunos. A seguir caracterizamos as explorações teóricas, buscando indícios de modelagem nas anotações e cadernos dos alunos.

a) Condutas discentes no laboratório

A análise da vídeo gravação baseou-se em dois vídeos, correspondendo às duas sessões utilizadas pelo grupo focal (G1) para a realização da tarefa proposta (Anexo 1) e se estrutura nas categorias definidas pelo estudo europeu.

Na 1^a sessão (t = 100'), os alunos ocupam a primeira hora (60') com a leitura das instruções (LI) e com a interpretação física da situação experimental, por meio de discussões entre si e 'cálculos', no sentido de anotações envolvendo fórmulas e equações (PL). Neste mesmo intervalo de tempo, os alunos interagem com o equipamento (MA) e começam a realizar as medidas (ME). As condutas de manipulação e medida, que se estendem até o final da 1^a sessão, envolvem:

- MA: manipulação do equipamento com (i) lançamento da esfera sem deixá-la cair no chão (aos 2:30', 7:10', 9:40', 11:00')⁷ e depois deixando-a cair (aos 12:50' e 46:42'; aos 49:04' incluindo medida do alcance de A; (ii) ajustamento mesa/trilho (29:00'), determinação da origem de A (48') e primeiras medidas assistemáticas de A (com h ao acaso, 3 lançamentos em 52'; com nova esfera e h medido a posteriori em 61:00');

⁶ CMA/CME – Em laboratório que envolve computadores, manipulação de equipamento e medições realizadas com apoio do computador.

⁷ Os tempos indicados foram obtidos a partir do contador do vídeo e correspondem ao momento em que as condutas mencionadas foram iniciadas; portanto a indicação 2:03' significa que a conduta foi iniciada aos 2 minutos e 03 segundos depois de começada a tarefa.

- ME: realização de medidas propriamente ditas, incluindo altura da mesa H (19:00'), altura máxima de lançamento da esfera $h_{\text{máx}}$ (20:00'), massa da esfera (32:00'). Além disso, a realização das medidas (ME) se estende para além deste período inicial de 60' quando, de 73:10'a 85:00', os alunos realizam medições experimentais sistemáticas de A para 9 valores de h.

Na 2ª sessão (t = 80'), os alunos estão centralmente envolvidos com a tentativa de análise dos dados obtidos na 1ª sessão através da elaboração de um gráfico. Assim, durante um primeiro período de 34', realizam cálculos (CL) e preparam um gráfico em papel milimetrado. Durante os próximos 20' aproximadamente, organizam-se para obtenção de novas medidas (ME), aparentemente com o objetivo de completar dados e gráfico⁸: escolhem uma esfera que pesam, escolhem um novo valor de h até então não medido, lançam a esfera (aos 44:00') e obtêm $A_{\text{experimental}}$, que depois comparam com A previsto em seu gráfico. Repetem estes procedimentos, aos 46:00' e aos 49:00', obtendo pequenas diferenças (da ordem de 1 a 2 cm) na comparação entre A_{previsto} e $A_{\text{experimental}}$, aos 53:00' e 56:00'. A sessão termina com a realização da tarefa de previsão-verificação, objetivo proposto no roteiro da tarefa.

Ao comparar nossos achados com os resultados obtidos no estudo europeu, verifica-se que:

a) assim como seus colegas europeus, os alunos do grupo focal dedicam uma parte considerável de seu tempo à manipulação do equipamento e realização de medidas (MA + ME), o que é de se esperar em uma situação de laboratório escolar⁹;

b) em comparação com os estudantes europeus, nossos alunos dedicam mais tempo ao roteiro de instruções (LI) e ao uso de papel/lápis (PL).

Nossa hipótese é que esta diferença poderia estar relacionada com a estrutura aberta/fechada do roteiro de instruções. Enquanto os 4 estudos de caso europeu apresentam tarefas altamente estruturadas, nossa abordagem privilegiou, nos dados de 2000, a apresentação de um problema aberto (ver Anexo 1). Em nosso entender, explica-se assim o tempo que nossos alunos dedicaram à compreensão e interpretação do problema assim como à organização/planejamento de tomada de dados.

A esse respeito, a vídeo gravação do grupo focal mostra que boa parte da 1ª sessão está centralmente dedicada a explorações teóricas (tal como evidenciada nas condutas LI e PL). É interessante ainda que, após as primeiras medições (que ocorrem ao final da primeira hora de trabalho), novamente os alunos voltam a utilizar papel e lápis (PL), realizando contas diversas (CL) e manipulando equações. Em estudo anterior (Colinvaux & Barros, 2000), este tipo de conduta, voltada para a interpretação do problema, havia sido caracterizada como exploração teórica.. A vídeo gravação, embora confirmando sua existência e duração, não permite uma análise mais fina de como os alunos efetivamente desenvolvem suas explorações teóricas. É com a análise dos cadernos que, como veremos a seguir, podemos complementar as informações dos registros em vídeo.

⁸ Aos 47:30', respondem afirmativamente à professora que pergunta: "o que vocês estão fazendo: verificando se as contas de vocês estão boas?".

⁹ A esse respeito, é interessante o comentário de Bécu-Robinault (1997), sobre a importância destas condutas para a aprendizagem conceitual.

b) Explorações teóricas, experimentação e modelagem

Nos cadernos e anotações dos 7 grupos de alunos, examinamos o papel da teoria/modelo físico nas condutas de exploração teórica; também verificamos em que medida estas referências se relacionam com o mundo dos objetos e eventos, obtendo assim indícios de modelagem.

De início, identificamos de que maneira os alunos fazem uso da teoria e de modelos físicos em suas anotações. Encontramos que 4 grupos: G1, G2, G4, G7, fazem várias referências ao mundo da teoria e modelos físicos, que analisamos adiante. Dois grupos, G3 e G6, não fazem referência alguma à teoria ou a modelos físicos: o caderno do G3 inclui apenas tabelas e o do G6 apresenta medidas aparentemente atóricas, embora tendo o cuidado de explicitar os procedimentos metodológicos adotados.

É interessante observar a justificativa de G6 para não explorar as dimensões teóricas da situação-problema:

“Primeiramente pensamos em partir de equações matemáticas, com a ajuda de conhecidas leis da física. Mas chegamos à conclusão de que esta seria uma decisão errada, pois nos lembramos dos antigos cientistas que não possuíam as leis da física formuladas, mas observavam vários acontecimentos naturais ou eles mesmos elaboravam e realizavam experiências para, a partir dos resultados, elaborar suas idéias e que elas fossem compatíveis com a realidade.”¹⁰ (G6)

Finalmente, um grupo, G5, faz apenas uma referência pontual à teoria/modelo físico, quando descreve o fenômeno como “*movimento uniformemente acelerado*”, depois de uma primeira fase de observação/obtenção de dados relativos a: h, d, A. Pode-se dizer, a partir da análise dos registros do caderno, que os alunos do G5 realizam a tarefa experimental de modo essencialmente atórico, seguindo um caminho empírico de realização de medidas.

Como vimos, os outros 4 grupos incluem em suas anotações várias referências à teoria e modelos físicos. A esse respeito, podemos diferenciar dois tipos principais de referência. Enquanto o primeiro consiste de explorações teóricas específicas, o segundo aponta para uma concepção de experimentação, isto é, da tentativa de encontrar uma relação entre teoria/modelo e dados.

- **Explorações teóricas: Referências específicas**

O primeiro tipo de referência à teoria e modelos aparece com a inclusão de princípios, equações e conceitos físicos específicos, configurando a etapa de formulação de hipóteses apontada em nosso quadro teórico (Quadro 1). Desde já é relevante assinalar que, devido ao nível de escolarização dos alunos, essas referências se situam no campo da mecânica da partícula tendem a desconsiderar o movimento de rotação da esfera (corpo rígido) no seu movimento ao longo da canaleta. São exemplos desse tipo de referência:

G1 – Anotações avulsas deste grupo mostram que busca trabalhar a partir de equações da cinemática ($v = \Delta s / \Delta t$; $\Delta s = \frac{1}{2} g t^2$ e $\Delta s = v \cdot \Delta t$), embora com equívocos (confundindo as

¹⁰ Na realidade, esta decisão dos alunos foi decorrente de uma discussão com o assistente.

componentes horizontal e vertical da queda livre da esfera); também faz referência, em seu caderno, ao princípio de conservação de energia mecânica, escrevendo a equação $mgh = \frac{1}{2}mv^2$, o que permite concluir que: $v^2 = 2gh$. O grupo parece assim estar focalizando aspectos pontuais, tateando e ‘rondando’ mas com equívocos e sem completar sua análise física da situação experimental. O caderno inclui comentários iniciais, quais sejam:

“Dados calculados: tempo de queda [seguido da equação] $H = \frac{1}{2}gt^2$ [e como] $g = 10m/s^2$ [chega-se a] $t = 0,40s$ ” para concluir “o alcance da esfera dependerá exclusivamente da velocidade horizontal adquirida. NÃO DEPENDE DA MASSA.” (ênfase no original)

No entanto, o grupo parece abandonar esta tentativa de controle da grandeza massa, já que a análise segue com anotações relativas ao experimento e apresenta a tabela de dados empíricos, sem dar continuidade à tomada de dados para mostrar o efeito da massa da esfera.

G2 – Em anotações avulsas assim como em seu caderno, este grupo aponta para elementos corretos mas isolados e sua tentativa de articulá-los é equivocada. Por exemplo, busca desenvolver uma análise dinâmica a partir da identificação de forças (peso da esfera e suas componente: P , P_t , P_n) e com base na cinemática, na tentativa de poder encontrar valores da velocidade de saída da canaleta ($v^2 = d.g.\text{sen } \theta$); mas erra ao calcular a velocidade de saída da canaleta; segue com a introdução da equação de Torricelli e chega a t ($t = \sqrt{2H/g}$), faz substituições corretas até chegar ao resultado $A = \sqrt{2H.h}$.

G4 – O grupo também evidencia tentativas de análise da situação experimental a partir de várias referências à teoria e modelos conhecidos. Em suas anotações, o grupo mostra, por um lado, que busca calcular a velocidade inicial de saída da canaleta, assim como o tempo de queda, o que permite chegar a um valor experimental de A para um h específico; e, por outro lado, faz uma tentativa de análise dinâmica das forças envolvidas (P). Além disso, o grupo desenvolve outra estratégia ainda: usa o princípio de conservação da energia mecânica ($E_p = E_c$) articulando-o com as equações cinemáticas de movimento de projéteis ($h = \frac{1}{2}gt^2$), para chegar à velocidade ($v = \sqrt{2gh}$) e, por substituição, chega a $A = \sqrt{4H.h}$, isto é: $\text{Alcance} = 2 \sqrt{H_{\text{mesa}} h_{\text{descida}}}$; finalmente, com este resultado, calcula o valor numérico de A teórico para uma determinada altura de lançamento escolhida h .

No entanto, esta estratégia não é mais retomada e este resultado é abandonado já que, quando os alunos obtém um valor experimental de A para este mesmo h , que é diferente do resultado obtido para o A teórico, não parecem compará-los: não há, no caderno ou nas anotações avulsas, qualquer comentário sobre a diferença observada entre o valor calculado do A teórico calculado e o valor obtido para o A experimental. Fica assim ausente a etapa de confronto, um dos indícios de modelagem definidos pelo nosso quadro teórico.

G7 – Em suas anotações avulsas, este grupo segue o caminho da cinemática para tentar calcular o tempo de queda livre e velocidade de saída da canaleta, recorrendo ainda à equação de Torricelli. Mas os alunos erram grosseiramente nas fórmulas e no uso dos símbolos.

Em seu caderno, este grupo evidencia um importante esforço de modelagem da situação experimental, por meio da cinemática, embora sua tentativa apresente erros, como podemos ver a seguir. As anotações iniciam com uma tentativa de identificação de duas

dimensões da situação experimental: “plano inclinado” e “queda livre”; para depois tratar da “estipulação da base teórica do estudo” que inclui uma referência à “aceleração local da gravidade” bem como a definição do que podemos interpretar como o modelo físico, quando escrevem “os eventos serão estudados, *a priori*, somente à luz da cinemática, desconsiderando-se variáveis como a massa e a força gravitacional (sic!).” Acrescentam ainda, nesta etapa inicial de suas anotações, que:

As funções matemáticas a serem usadas na parte teórica do estudo serão:

$$s = s_o + v_o t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$v = v_o + at$$

$$v^2 = v_o^2 + 2a\Delta s$$

Em síntese, a análise dos cadernos mostra três estratégias principais de uso, ou não, de referências ao mundo da teoria e modelos. São elas:

- a) um caminho empírico/experimental sem referência a teoria/modelos (G3, G6 e parcialmente G5);
- b) explorações teóricas bastante sistemáticas baseadas em análises cinemática e/ou dinâmica (G2, G4);
- c) explorações teóricas aparentemente desordenadas, sugerindo uma base teórica fragmentada, sem integração conceitual (G1, G7).

• Experimentação

O segundo tipo de referência a modelos/teoria aponta para o tema da experimentação. Estas referências aparecem em comentários genéricos e geralmente isolados, que expressam a perspectiva dos alunos sobre a relação entre teoria/modelo e experimento, ou ainda, quanto à função e objetivos da experimentação em laboratório.

Por exemplo, quando G4 afirma: “Nosso objetivo é demonstrar de forma prática as equações matemáticas descritas pelo movimento”, ou ainda, quando G8 escreve: “O problema consiste em uma experiência na qual comprovar-se-ão (ou não) as equações que descrevem as teorias do movimento dos corpos – no caso um plano inclinado e uma queda livre”, podemos inferir um entendimento da experimentação para fins de demonstração/verificação da teoria e de suas leis. Na interação com os alunos, eles frequentemente expressam desconfiança com relação aos dados que obtiveram, considerando que o modelo teórico tem primazia sobre os resultados experimentais.

Também fazem parte dessas referências alguns comentários que buscam articular dados empíricos com o universo teórico, aparentemente correspondendo ao que identificamos como etapa de confronto. É o que fazem, por exemplo, os alunos do G2 quando argumentam: “(...) nossos cálculos não batem com o que foi visto no experimento. Ou seja não estamos conseguindo provar teoricamente com o fato propriamente dito.” (G2). É relevante acrescentar que, nessas referências, explicita-se sempre uma articulação entre os dois mundos da teoria/modelo e dos dados, muito embora esta relação aponte para uma visão

aparentemente equivocada segundo a qual, como vimos acima, a experiência serve para ‘confirmar’ a teoria: se este não é o caso, então os dados são descartados para ‘salvar’ a teoria.

Assim como G2, os alunos do G4 também calculam o alcance A, chegando a $A = 2 \sqrt{h}$ H. Neste caso, os alunos iniciam com uma descrição da situação, em referência explícita ao mundo dos objetos/eventos, seguida dos procedimentos metodológicos, antes de chegar à afirmação de uma relação funcional, embora de modo redundante:

Conclusão parcial:

À medida que aumenta a altura o alcance também aumenta.

À medida que a altura diminui o alcance diminui.

Além da redundância, observa-se que os alunos não chegam a formular explicitamente que A é função de h, nem tampouco escrevem A (h). Os alunos do G4 propõem ainda ‘desenvolver um modelo teórico’, sem no entanto explicitar o que querem dizer com isso. Mas, apesar de calcular o valor de $A_{\text{teórico}}$ e depois obter um valor diferente para o $A_{\text{experimental}}$ correspondente, não comentam a diferença encontrada, deixando portanto de confrontar seus dados experimentais com as previsões do modelo teórico.

Portanto, para concluir a análise dos cadernos, é necessário discutir em que medida as referências ao mundo da teoria/modelos podem ser tomadas como indício de modelagem, vale dizer, se as explorações teóricas se articulam com mundo dos objetos/eventos. É relevante que, em nosso trabalho anterior (Colinvaux & Barros, 2000), assinalamos que os alunos realizam intensas e demoradas explorações teóricas, sendo essa uma das primeiras e principais estratégias iniciais de resolução da tarefa proposta. No entanto, naquele estudo assim como neste, a dimensão teórica parece estar desconectada do fenômeno: os alunos recorrem à teoria que aprenderam anteriormente, e o fazem de maneira aparentemente intuitiva, já que não explicitam quais são suas hipóteses (ou o estatuto hipotético de suas afirmações), nem justificam suas escolhas teóricas a partir das características da situação experimental. Portanto, os indícios que apontam para o recurso à teoria/modelo físico não podem ser interpretados com um processo de modelagem que busca precisamente articular, na etapa de confronto, os cálculos teóricos (modelo numérico) com os resultados empíricos.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O estudo focaliza a noção de modelagem, definida como processo que permite relacionar os domínios teórico e experimental na realização de uma tarefa de laboratório, e operacionalizada em duas etapas principais, quais sejam: formulação de hipóteses sobre o fenômeno, levando à identificação do modelo físico a ser utilizado; confronto entre modelo e resultados experimentais. Os dados obtidos junto a 7 grupos de alunos mostram que as condutas discentes no laboratório configuram um mosaico contraditório de competências e obstáculos. Se, por um lado, os alunos realizam demoradas explorações teóricas, usando a teoria que sabem, por outro lado, enfrentam grandes dificuldades em articular este domínio da teoria/modelo com a interpretação da situação-problema e com os dados experimentais que obtiveram na realização da tarefa proposta.

O estudo permite apontar que:

a) no plano teórico, a operacionalização da noção de modelagem em termos de formulação de hipóteses e de confronto entre modelo (físico/numérico) e resultados experimentais é proveitosa, pois permite especificar condutas e etapas de um processo de articulação mais fina entre o mundo das coisas e eventos e o mundo da teoria e modelos, tema este já colocado em evidência pelo estudo europeu mencionado ao início de nosso trabalho;

b) do ponto de vista didático, é necessário discutir o formato aberto/fechado das tarefas propostas; explicitar especialmente as etapas de modelagem.

REFERÊNCIAS

BÉCU-ROBINAULT, K. - Activités de modélisation des élèves en situation de travaux pratiques traditionnels: introduction expérimentale du concept de puissance - **Didaskalia: Recherches sur la Communication et l'Apprentissage des Sciences et des Techniques**, Lyon, 11, 7-37, 1997.

COLINVAUX, D.; BARROS, S.S. Entre a teoria e o fenômeno no laboratório de física escolar: a procura dos modelos usados pelos alunos. In: ABIB, M.L.S. et al. (Eds). ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, VII, Florianópolis. **Atas ...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2000.

EUROPEAN COMMISSION/Project PL 95-2005. **Labwork in Science Education**. Disponível em www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/projects/labwork/papers.html. 1998.

FRANCO, C.; COLINVAUX, D. Grasping mental models. In: J.K. GILBERT, J.K.; BOULTER, C.J. (Eds) **Developing Models in Science Education**. Dordrecht: Kluwer, 2000. p. 93-118.

FRANCO, C. et al. - >From scientists' and inventors' minds to some scientific and technological products: relationships between theories, models, mental models and conceptions - **International Journal of Science Education**, Dordrecht, v. 21, n. 3, 277-291, 1999.

JAFELICE, L.C. (Org) SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, XIV, Natal, 2001.

LEACH, J.; PAULSEN, A.C. (Eds) **Practical Work in Science Education: Recent Research Studies**. Dordrecht: Roskilde University Press & Kluwer, 1999.

LUNETTA, V.N. The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In: FRASER, B.J.; TOBIN, K.G. (Eds) **International Handbook of Science Education (Part One)**. Dordrecht: Kluwer, 1998. p. 249-262.

MILLAR, R. Students' understanding of the procedures of scientific enquiry. In: TIBERGHIE, A.; JOSSEM, E.L.; BAROJAS, J. (Eds) **Connecting Research in Physics Education with Teacher Education**, an ICPE Book, 1998.

MOREIRA, M.A. (Org) ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, III, Atibaia, 2001.

- MOREIRA, M.A. (Org) CONFERÊNCIA INTERAMERICANA DE ENSINO DE FÍSICA, III, Cabela, 2001.
- MOREIRA, M.A. **Pesquisa em Ensino: O Vê Epistemológico de Gowin**. São Paulo, EPU, 1990.
- MOREIRA, M.A. - Modelos mentais - **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 1, n. 3, 1996.
- NIEDDERER, H. et al. Category-based analysis of videotapes from labwork (CBAV): Methods and results from four case-studies. **Labwork in Science Education**, Working Paper 9. Disponível em www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/projects/labwork/papers.html
- TIBERGHIE, A. - Modelling as a basis for analysing teaching-learning strategies - **Learning and Instruction**, 4, 71-82, 1994.
- TIBERGHIE, A.; MEGALAKAKI, O - Characterization of a modelling activity for a first qualitative approach to the concept of energy - **European Journal of Psychology of Education**, vol. X, n. 4, 369-383, 1995.

ANEXO 1 – A tarefa experimental

Problema

SITUAÇÃO: Uma bola de aço é projetada em queda livre de uma altura H após rolar numa canaleta inclinada de uma altura h , com velocidade inicial $v_0 = 0$ (veja figura abaixo).

Tarefa Experimental

A. Planeje e desenvolva as experiências que considere necessárias para poder PREVER NUMERICAMENTE NO FINAL DA EXPERIÊNCIA, tão exatamente quanto possível, o alcance A da esfera quando esta é solta com $v_0 = 0$, de uma altura h prefixada (que você não mediu).

B. Verificação experimental da previsão feita em A.

Equipamento à disposição (ESCOLHA O MATERIAL QUE ACHAR NECESSÁRIO PARA A EXPERIÊNCIA): canaleta, esferas de aço, régua milimetrada, cronômetro, fita métrica, transferidor, papel carbono, durex, papel.

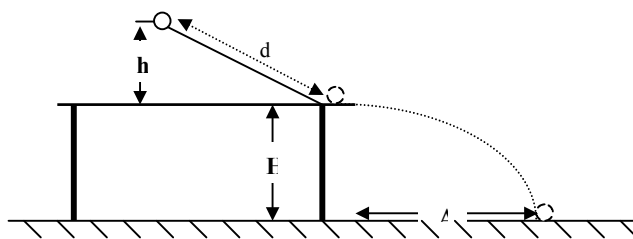


Figura: Dispositivo Experimental