

As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história da ciência numa seqüência de conteúdos em mecânica: o referencial teórico e a receptividade de estudantes universitários à abordagem histórica da relação força e movimento*

(Spontaneous conceptions, problem solving, and the history of science in a content sequence in Mechanics: the theoretical framework and the receptivity of college students to the historical approach of the relationship between force and motion)

Luiz O. Q. Peduzzi, Arden Zylbersztajn

Depto de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 88049 Florianópolis, SC

Marco Antonio Moreira

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 91501-970 Porto Alegre, RS

Trabalho apresentado na V RELAEF

Resumo

Neste trabalho descrevemos a elaboração e testagem preliminar de um texto de Mecânica, em nível universitário básico, que procura levar em conta: a) as concepções que os estudantes trazem para a sala de aula; b) algumas etapas do desenvolvimento histórico da Mecânica; c) as atitudes dos estudantes em relação à solução de problemas em Física.

Abstract

In this paper we describe the preparation and preliminary testing of an introductory college physics text in Mechanics, which attempts to take into consideration the following aspects: a) the conceptions students bring to the classroom; b) some stages of the historical development of Mechanics; c) students attitudes toward problem solving in Physics.

Introdução

O elevado índice de reprovação e a falta de motivação para o estudo da Física, em nível universitário básico, tem sido motivo de constante preocupação por parte de professores, estudantes e administradores não só de nossa Universidade, como de todas as Instituições de Ensino Superior do país com conteúdos de Física em seus currículos. O aluno recém egresso do segundo grau, sujeito em geral a um ensino de qualidade bastante discutível, acaba esbarrando, nas primeiras disciplinas que lhe são oferecidas, com exigências muito superiores às que normalmente encontra-se preparado. Nesse sen-

tido, é sem dúvida na Mecânica, usualmente introduzida como primeiro tópico de Física em disciplinas de Física Geral para os cursos de Física, Engenharia, Matemática, Química etc., onde mais se acentuam esses problemas. O aluno, até então sem o hábito da leitura, da reflexão individual, passa a ser pressionado pelo professor para buscar em livros de texto o complemento indispensável aos assuntos abordados em sala de aula. No entanto, em que pese a diversidade da bibliografia existente, esta, via de regra, não incorpora, mesmo em edições recentes, resultados básicos de pesquisas educacionais. Isto é o que ocorre particularmente com relação as concepções alternativas (intuitivas, espontâneas) e a própria resolução de problemas em Física, duas grandes áreas de estudo que têm merecido a atenção de pesquisadores de diversos países. A literatura especializada

*Trabalho apresentado na V Reunião Latino Americana sobre Educação em Física, Porto Alegre (Gramado), 24 a 28 de agosto de 1992.

nestas áreas mostra que, notadamente em mecânica, é necessário se levar em conta diversos aspectos relacionados ao ensino deste assunto para manter o interesse dos estudantes e minimizar as suas dificuldades conceituais. O potencial da história da Mecânica para o aprendizado de conceitos nesta área do conhecimento, deixado de lado por livros de texto de consagrado uso, também não pode ser ignorado em uma metodologia que visa a compreensão significativa de conteúdos. Em suma, há uma clara falta de sintonia entre a pesquisa em ensino de Física e a transferência dos resultados desta pesquisa para os livros de textos e, em decorrência, para a sala de aula. Frente a esta situação, decidiu-se desenvolver um trabalho que prevê a construção e a testagem de uma seqüência de conteúdos em mecânica, a nível universitário básico, que:

a) leve em conta, especificamente, as concepções que os estudantes trazem para a sala de aula, relacionadas aos conceitos e princípios que eles têm de apreender;

b) considere algumas etapas do desenvolvimento histórico da Mecânica como uma estratégia para:

b₁) estabelecer possíveis paralelismos entre algumas concepções espontâneas dos estudantes e importantes idéias mantidas no passado;

b₂) mostrar ao estudante a dinamicidade do conhecimento científico;

b₃) desmistificar a idéia, que muitos livros de texto acabam transmitindo a seus leitores, de que a ciência é construída através de uma seqüência de fatos e descobertas realizadas apenas por cientistas infalíveis;

c) leve em consideração as atitudes dos estudantes em relação aos problemas que eles têm de resolver (as quais, geralmente, não são aquelas que os conduzem a uma solução bem sucedida), apresentando e discutindo alguns aspectos da resolução de problemas em Física que poderão ajudá-los a ter uma visão mais crítica sobre esta importante área da aprendizagem;

d) utilize a resolução de problemas, em Física, como uma forma de comentar e lidar com as idéias intuitivas dos estudantes, estimulando-os a raciocinar sobre os aspectos conceituais dos problemas e não apenas deterem-se em sua solução matemática formal. Neste artigo apresenta-se as bases teóricas desta pesquisa e resultados preliminares de uma testagem quanto a receptividade de alunos de Física à parte do material instrucional desenvolvido.

O referencial teórico

As concepções alternativas dos estudantes, a resolução de problemas em Física e a história da Mecânica são três grandes áreas de pesquisa que têm contribuições valiosas a oferecer para que o ensino de ciências, e o de Física, em particular, se processe de forma mais eficiente.

A mente do aluno não é um quadro em branco que o professor pode (ou pensa que pode) preencher como quer. As interações deste indivíduo com o mundo que

o cerca habilitam-no a construção, de esquemas explicativos que lhe possibilitam fazer previsões e mesmo 'explicar' diversos fenômenos físicos do seu dia a dia. Estas construções, na forma de concepções, conceitos ou idéias intuitivas, alternativas:

a) são encontradas em um grande número de estudantes, em qualquer nível de escolaridade;

b) constituem um esquema conceitual coerente, com amplo poder explicativo;

c) diferem das idéias expressas através dos conceitos, leis e teorias que os alunos têm que aprender;

d) são muito persistentes e resistem ao ensino de conceitos que conflitam com elas;

e) não se debilitam, mesmo frente a evidências experimentais que as contrariam;

f) interferem no aprendizado da Física, sendo responsáveis, em parte, pelas dificuldades que os alunos encontram em disciplinas desta matéria, acarretando nestas um baixo rendimento quando comparado com disciplinas de outras áreas;

g) apresentam semelhanças com esquemas de pensamento historicamente superados.

Infelizmente, a força e a intensidade destas concepções acabam passando despercebidas para muitos professores, mesmo universitários, que as consideram como simples erros conceituais isolados, que podem ser facilmente descartados. Avaliações que priorizam a resolução de problemas sem o devido questionamento teórico contribuem ainda mais para encobrir esta situação. Por outro lado, um ensino eficiente e produtivo passa, necessariamente, por uma exploração cuidadosa das concepções que os estudantes possuem e que estão em desacordo com o que é atualmente aceito pela ciência.

Do ponto de vista da escola o que se almeja é que o aluno assimile o conhecimento científico. No entanto, idéias não científicas como a "lã é quente", etc., fazem sentido no contexto extra-escolar, na sociedade em que as pessoas vivem. O que dizer, por exemplo, de um cientista que também não compreendesse o linguajar popular? Assim, é questionável se tentar destruir, pura e simplesmente, as idéias intuitivas dos estudantes. Parece mais lógico, como enfatiza Solomon^[5], concientizar o aluno sobre as suas idéias não científicas e com uma instrução escolar adequada, capacitá-lo a operar com clareza no domínio científico dos fatos.

Se isso fosse levado em conta, não se precisaria ver com a cautela hoje necessária o sucesso do aluno na resolução de problemas numéricos e literais, usualmente do tipo fechado e que lhe possibilita pouca ou quase nenhuma participação na elaboração de hipóteses, discussão de casos limites, etc.^[6] Isto é, sem ser convenientemente alertado para as suas idéias intuitivas, e para não ser reprovado, o estudante aceita e acaba usando, com freqüência e sem maiores questionamentos, o referencial teórico apresentado pelo professor para a resolução de muitos problemas; porém, quando se de-

para com questões que apelam fortemente para o seu senso intuitivo este prevalece ao ensino formal. Quando isso acontece resultam, na sua estrutura cognitiva, duas estruturas conceituais superpostas, a intuitiva e a científica, em claro prejuízo à sua aprendizagem.

É justamente na resolução de problemas em Física, onde se espera que o aluno, de forma significativa e não mecânica^[7], relacione idéias e opere com os conceitos e princípios que aprendeu, que muitas dificuldades, não apenas de ordem conceitual, vêm a tona. A não compreensão, em níveis desejáveis, dos temas abordados e insuficientes conhecimentos matemáticos sintetizam, para muitos, os fatores responsáveis pelos maiores insucessos nesta área da aprendizagem. Contudo, a atitude do estudante em relação à resolução de problemas, a qual com frequência não é a mais apropriada em direção a uma solução bem sucedida, não pode deixar de ser também incluída neste elenco. De fato, muitos alunos, mesmo dispondo de um razoável conhecimento de um dado assunto, mal lêem o enunciado de um problema e já se consideram incapazes de encaminhar a sua solução. Não tentam, sequer, dar início ao mesmo. Outros, sem uma adequada fundamentação teórica, aplicam, cegamente, equações que não se ajustam à situação tratada. Muitos ainda, após a resolução correta de um problema passam, imediatamente, a um outro, sem refletirem sobre a solução encontrada, num evidente prejuízo a uma melhor compreensão da situação em questão.

Não há dúvida de que cabe não apenas ao professor, mas também a textos didáticos, a tarefa adicional de também capacitar o estudante a ter uma visão mais abrangente e crítica sobre a resolução de problemas em Física, e as pesquisas nesta área, oferecem subsídios para tal.^[8-11] Um envolvimento consciente do aluno em tarefas de resolução de problemas, tanto nos de enunciados abertos, como propõe Gil Perez^[6], como nos de enunciados tradicionais^[11], certamente representará uma importante parcela no somatório das ações que necessitam ser desenvolvidas para uma aprendizagem significativa dos conteúdos estudados.

A história da mecânica, por outro lado, particularmente no que se refere à relação força e movimento, explorada convenientemente, pode se constituir em um poderoso recurso didático capaz de também contribuir para que o aluno entenda melhor esta parte da Física. Muitas das dificuldades que um expressivo número de estudantes encontra para o entendimento das duas primeiras leis de Newton se assemelham às resistências que Galileu teve de enfrentar ao introduzir a concepção inercial de movimento, notadamente quanto a questão da proporcionalidade entre força e velocidade na física aristotélica e no impetus adquirido por um corpo a partir de seu lançador.^[12-14] Deste modo, não chega a surpreender que o simples enunciado e alguns exemplos de aplicação destas leis não sejam suficientes para propiciar ao aluno uma compreensão adequada das mesmas. Contudo, não há, em geral, uma preocupação maior em

comentar aspectos históricos ligados ao relacionamento força e movimento (e em decorrência, própria evolução do conceito de força), isto tanto da parte do professor como da grande maioria dos livros de texto.

Assim, Aristóteles, para citar um exemplo, só é mencionado, em geral de passagem, como o grande responsável por entravar o desenvolvimento da ciência durante muito tempo. Ora, que idéias seriam as suas, no âmbito da sua filosofia natural, capazes de, por gerações, se constituírem em objeto de estudos, de discussões, de críticas e de defesas, por mentes brilhantes ao longo da história e, ainda assim, manterem a sua essência por tanto tempo? E se muitos estudantes, hoje, apresentam uma concepção aristotélica envolvendo a proporcionalidade força-velocidade, raiz de tantos erros em Dinâmica, por que, então, não apresentar ao estudante, dentro de um contexto simplificado mas objetivo, as idéias básicas de Aristóteles que o levaram a estabelecer esta proporcionalidade? Além de instrutivo, este procedimento pode propiciar um importante referencial para o aluno repensar algumas das suas idéias.

Sem uma ênfase na abordagem histórica da Mecânica passa também despercebido o pensamento de Galileu, que é de uma riqueza extraordinária. Nele, como assinala Koiré^[15], encontram-se presentes três grandes períodos da história do pensamento científico (físico): a física aristotélica, a física do impetus e a física matemática, experimental, arquimediana.

Teorias obsoletas, como ressalta Kuhn^[16], não são acientíficas simplesmente porque foram descartadas. Crenças e concepções mantidas no passado e hoje superadas, quando examinadas dentro de um contexto que ressalta a sua consistência e coerência internas, propiciam não apenas uma melhor compreensão da evolução de idéias e conceitos mas uma visão mais nítida e realista do desenvolvimento da própria Física. A excessiva linearização do conhecimento, como em geral é promovida pelos livros de texto e em sala de aula, acaba dando a Física uma imagem de ciência destituída de contradições, que a transforma em um encadeamento de idéias sempre bem sucedidas, não possíveis de nenhum percalço em seu desenvolvimento. Neste ponto concorda-se com Robilotta, quando afirma que *A linearização é responsável por uma imagem de ciência como algo não humano, muito superior às possibilidades dos mortais. A linearização da história apresenta a ciência como um produto a ser venerado, admirado à distância, fazendo com que os estudantes adquiram um sentimento de inferioridade. Esse sentimento sugere a eles ser difícil demais a participação no desenvolvimento e difusão da ciência. A linearização da história promove o triunfo da ciência; nós somos os derrotados. Esse estado de coisas somente pode ser alterado se a história da física passar a fazer parte integrante e orgânica de seu ensino*^[17].

A seqüência de conteúdos

O material instrucional desenvolvido está dividido em três unidades: "Cinemática unidimensional", "Força e movimento - de Thales a Galileu" e "As leis de Newton". O conteúdo de cada uma delas apresentado no Apêndice 1.

Cinemática unidimensional

Introduz, formalmente, os conceitos básicos da cinemática. A ênfase, no texto, tanto a aspectos relativos a análise qualitativa quanto quantitativa de gráficos $X \times t$ e $V \times t$ tem por objetivo mostrar ao estudante a potencialidade desta forma de representação.

A queda livre não é discutida nesta unidade, tendo em vista que perguntas normalmente feitas em sala de aula, pelo professor, acerca deste tema (e sobre o movimento oblíquo de projéteis) são geralmente respondidas pelo aluno em termos de força e não cinemáticos. E é exatamente quando o estudante raciocina em termos dinâmicos que se explicitam as suas concepções alternativas relacionadas a este assunto. Assim, parece claro que o estudante necessita, primeiro, saber o que é realmente uma força, para depois utilizar corretamente este conceito em suas explicações. Contudo, antes de passar à unidade seguinte, onde o estudante começa a dar os primeiros passos neste sentido, o texto discute alguns aspectos da resolução de problemas em Física. Esta importante área da aprendizagem, na qual estão normalmente baseadas as avaliações de conteúdo, tem recebido pouca, ou quase nenhuma, atenção tanto da parte do professor, em sala de aula, quanto dos autores de livros de texto, que parecem pressupor um envolvimento natural do aluno com os problemas que lhe são propostos.

Força e movimento - de Thales a Galileu

Esta unidade compreende seis capítulos.

No capítulo "De Thales a Ptolomeu: as bases do estudo da relação força e movimento", discute-se a constituição da matéria, segundo alguns filósofos gregos, e algumas idéias no campo da Astronomia, que acabam colocando a Terra como corpo central no universo e elegendo o movimento circular uniforme como um movimento perfeito. Nesta trajetória chega-se ao universo aristotélico. De um lado a Terra em constante mudança, e de outro o céu, que exceto pelo movimento dos astros não é objeto de qualquer mudança, faz com que Aristóteles atribua realidades físicas diferentes a estes dois mundos, com reflexos diretos na forma com que irá estruturar as suas concepções em Mecânica. O sistema de Ptolomeu, compatível com a doutrina aristotélica de uma Terra imóvel e centro do universo, preserva o dogma do movimento circular, ao mesmo tempo que reitera a dissociação entre a física terrestre e a celeste.

O capítulo relativo a física aristotélica introduz os conceitos de lugar natural e de movimento natural,

ambos diretamente associados com a estrutura logicamente ordenada do universo aristotélico. Através da "lei de força" de Aristóteles fica clara a proporcionalidade entre força aplicada e velocidade adquirida, bem como a impossibilidade de movimento no vazio. Na dinâmica aristotélica o que se move e o que se movimenta devem estar em permanente contato, não sendo possível, desta forma, a manutenção de um movimento sem uma força constantemente aplicada ao móvel. Isto acaba acarretando problemas na forma como Aristóteles explica o movimento de um projétil após o seu arremesso, devido ao duplo caráter que ele atribui ao meio: o de sustentar o movimento e o de opor uma resistência a ele.

A idéia básica da dinâmica aristotélica, de que é necessário associar uma força a um objeto em movimento, continua presente nos trabalhos de Hiparco e Filoponos, mas de uma forma diferente da aristotélica. Para eles, o movimento de um projétil se dá por meio de uma força *transmitida* ao projétil pelo projetor (ao contrário de Aristóteles, para o qual a força provinha do próprio meio). O capítulo "A física da força impressa" mostra como esta idéia se insere dentro da perspectiva de um universo finito, que exige que qualquer movimento seja limitado em extensão.

A noção de força impressa de Hiparco e Filoponos serviu de referencial para que, no século XIV, estudiosos da escola parisiense desenvolvessem a teoria do impetus, que originou uma série de novas críticas às considerações de Aristóteles sobre força e movimento. No capítulo "A física do impetus" discute-se o impetus, esta "qualidade", "força", "impressão", "potência", "virtude motriz", que passa do movente ao móvel nos movimentos violentos, e de que um corpo em movimento natural também fica impregnado. É através deste conceito, sugerido como explicação para a rotação da Terra ou da esfera das estrelas, que aparece, pela primeira vez, mesmo que de forma incipiente, a idéia de uma única física para explicar eventos terrestres e celestes.

Contudo, para que uma nova física possa encontrar terreno fértil para o seu desenvolvimento faz-se necessário abalar-se toda uma estrutura rigidamente estabelecida ao longo dos séculos, em que se acham interligados componentes de ciência, filosofia e religião. O capítulo "As novas concepções do mundo" procura mostrar isso ao estudante, comentando o pensamento de Nicolau de Cusa sobre a relatividade dos movimentos e a sua idéia de um universo sem limites; discutindo o heliocentrismo de Copérnico e os problemas de ordem física que os aristotélicos levantavam para a sua rejeição; apresentando a argumentação de Giordano Bruno em favor de um universo infinito, que passa não pelo testemunho dos sentidos, mas sim pela força do intelecto, pelos olhos da razão; fazendo referência a prática de observação sistemática do céu desenvolvida por Tycho Brahe e o espírito de precisão que sempre

norteou o seu trabalho, que acabaram propiciando dados a Kepler para romper com o mito do movimento circular.

A unidade se encerra com o capítulo "A física de Galileu", que começa apresentando as primeiras idéias de Galileu sobre força e movimento e a influência de Arquimedes em seu trabalho. A seguir mostra como Galileu obtém a lei da queda dos corpos, introduzindo, definitivamente, uma física quantitativa, inteiramente diferente da física das qualidades de Aristóteles e de seus seguidores, e da física do impetus, bastante confusa e vaga. Finalmente, discute o movimento de projéteis e a inércia galileana, chamando a atenção que esta última seria, no limite, uma inércia circular.

As leis de Newton

Aborda situações de repouso e de movimento com velocidade constante sob a ótica dos aristotélicos, dos teóricos do impetus e de Galileu, enfatizando a mudança do "tudo que se move é movido por alguma coisa", das físicas aristotélica e do impetus, para o "todo corpo continua no seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme a menos que seja compelido a mudar o estado em que se encontra por forças a ele aplicadas". Com a definição qualitativa de força, presente na primeira lei, promove-se uma discussão qualitativa sobre o movimento circular uniforme, para enfatizar que este é um movimento acelerado (ao contrário do que pensavam os antigos e, ao que parece, o próprio Galileu). Após análise das implicações físicas da primeira lei introduz-se a segunda lei, que define força, matematicamente, e a terceira que caracteriza uma força fisicamente, como uma interação entre dois corpos.

As dificuldades conceituais dos estudantes em relação às leis de Newton também são objeto de análise nesta unidade. Isto feito mediante a apresentação e discussão de questões que elicitam respostas intuitivas sobre este assunto, extraídas da literatura científica.

Conclui-se a unidade com exemplos de aplicação das leis de Newton, que exploram alguns aspectos da resolução de problemas comentados na unidade "Cinemática unidimensional".

Metodologia

Durante o primeiro semestre de 1991 apresentou-se as três unidades do texto desenvolvido a alunos matriculados na disciplina Física Geral I do curso de Física da Universidade Federal de Santa Catarina. Como uma primeira etapa de trabalho da pesquisa proposta, decidiu-se investigar a receptividade dos alunos a unidade "Força e movimento - de Thales a Galileu".

A metodologia adotada para a exploração deste conteúdo foi bastante diversificada, envolvendo apresentação via transparências, aula normal (giz e quadro-negro), leitura individual em aula, discussão em pequenos grupos e discussão em grande grupo.

Para envolver os alunos o mais ativamente possível com o material instrucional combinou-se, de comum acordo com a turma, que ao final da unidade se realizaria uma sessão debate com o objetivo de promover uma integração geral dos conteúdos abordados. Para isso, dividiu-se a turma em 6 grupos (média de 4 alunos por grupo), de acordo com o número de capítulos da unidade, cabendo, a cada grupo, a função de defender um conjunto específico de idéias.

A receptividade dos alunos ao texto foi avaliada

- a) por meio de um questionário aberto, onde os alunos, anonimamente, se pronunciaram sobre a unidade;
- b) através de entrevistas.

O questionário foi utilizado com o objetivo principal de conhecer a opinião geral dos estudantes sobre o texto, sem impor-lhes nenhum tipo de constrangimento (que poderia vir a ocorrer caso fossem questionados oralmente). Já através das entrevistas procurou-se detectar pontos de dificuldades específicos encontrados pelos alunos no estudo do texto. As observações realizadas em sala de aula complementaram esta análise.

Resultados

Os alunos, em sua ampla maioria, mostraram, através do questionário, que apreciaram bastante o texto histórico, conforme transparece nos seguintes comentários:

"A apostila foi bem-vinda pelo fato de nos trazer conhecimentos sobre as origens dos pensamentos a respeito de força e movimento; pensamentos que ainda nos dias de hoje ocorrem na mente das pessoas..."

"As apostilas foi de grande importância para o entendimento da ciência e sua evolução na área de força e movimento..."

"Do meu ponto de vista a apostila está boa, apenas pergunto se esta não poderia ser um pouco mais compacta..."

"Não tenho nada contra o conteúdo da apostila e também sobre o sistema adotado para a compreensão da mesma. Achei que foi bastante produtiva a maneira trabalhada, pois a apostila estava, do meu ponto de vista, bem elaborada, com uma linguagem acessível, o que me despertou muito interesse por toda a apostila e em especial pela última parte (Galileu)."

A sessão debate foi muito bem aceita pelos estudantes, e mostrou-se com potencial para se constituir em importante componente da metodologia utilizada para a abordagem deste conteúdo. A opinião dos alunos, neste sentido, foi bastante convincente:

"Achei muito interessante esse método de aprender. As apostilas foram bem elaboradas, podemos analisar o modo de pensar de cada personagem na sua época e até poderia dizer que nos colocamos no lugar daquele que representamos. Com certeza, aprendemos muito mais [do] que se apenas pegássemos a apostila para estudar sozinhos, lendo sem analisá-la."

"O debate, a princípio, pareceu-me inviável, pois cada grupo tinha muitas idéias para defender, e estas muitas vezes se contradiziam. Porém, ao iniciá-lo, já com as diretrizes definidas, ficou evidente a possibilidade de desenvolvê-lo com sucesso. No âmbito geral acredito que foi de muita valia para a classe, pois este tipo de exercício serve como um componente que vem a incentivar um estudo mais profundo da matéria."

"Achei "excelente" o debate, pois mobilizou toda a sala e fez com que todos participassem ativamente; garanto que não teria sido da mesma maneira se fosse apenas explicado como é comum aos professores; todos se interessaram mais, pois estavam sendo avaliados.¹

"O debate também foi bem aceito, [pois] facilitou muito o nosso estudo. Ao mesmo tempo que o grupo procurava defender suas idéias ele entendia a razão que cada filósofo teve para chegar a tais conclusões sobre o tema proposto. Às vezes conclusões erradas, mas se não fossem os erros a Física não teria evoluído tanto."

Em que pese todo um conjunto de opiniões favoráveis a apostila e a sessão debate, e mesmo tendo-se incentivado o aluno a leituras individuais em sala de aula sobre o texto como um todo, ficou evidente ao observador atento, e também registrado por alguns alunos ao responderem o questionário, que muitos estudantes se preocuparam apenas com o capítulo que lhes cabia, dando uma atenção superficial aos demais. Este fato não chegou a prejudicar o debate que, sem dúvida, foi muito interessante, pois o estudante que estava "firme" no seu capítulo tinha condições de perguntar, ou mesmo de argumentar contra outras idéias, como "leigo" no assunto. Os reflexos desta falha metodológica, combinados com uma outra, que foi a de não incluir um newtoniano no debate (dada a extensão da unidade "Leis de Newton"), fizeram-se sentir no desempenho dos alunos em duas questões teóricas que eliciavam idéias intuitivas em uma verificação de aproveitamento relativa às leis de Newton. Neste caso, a grande maioria dos estudantes respondeu estas questões segundo uma visão não inercial de movimento, apesar do bom desempenho da turma, em geral, às questões envolvendo problemas.

Discutindo-se com os alunos o porquê deles não terem sido capazes de distinguir entre a concepção inercial e a não inercial de movimento eles apontaram três razões básicas para este insucesso: a não inclusão de um newtoniano no debate e o fato deles não terem se dedicado convenientemente ao estudo teórico da unidade "As leis de Newton" (que faz menção específica às concepções alternativas dos estudantes sobre força e movimento), já eram previsíveis. O terceiro argumento apresentado pelos estudantes foi extremamente curioso. Segundo alguns alunos, o texto era tão convincente e o papel de defesa de conteúdos como a física da força impressa, a física do ímpetus e mesmo a física de Galileu, no tocante às suas primeiras idéias sobre força e

movimento, foi levado tanto a sério na preparação do debate, que os alunos acabaram incorporando muitas destas idéias não mais aceitas e utilizando-as em suas explicações àquelas questões.

Este fato, totalmente inesperado, mas que está diretamente vinculado tanto ao texto, especificamente, quanto a metodologia utilizada foi reiterado pelos estudantes durante as entrevistas.

Nas entrevistas, como já era de se supor, surgiram colocações bastante interessantes sobre o texto, tanto de cunho específico quanto geral, pois como o objetivo era o de colher subsídios para melhorá-lo, visando futuras aplicações, escolheu-se 5 alunos que tiveram participação destacada em todos os trabalhos realizados em classe. As principais sugestões apresentadas foram:

Elaboração de uma introdução a unidade "Força e movimento - de Thales a Galileu", a fim de que o aluno tenha clareza sobre a abrangência e os reais objetivos da unidade em si mesma e de como ela se insere dentro de uma sequência mais ampla de conteúdos;

- Especificação dos objetivos de cada capítulo;

- Inclusão, no questionário ao final de cada unidade, de perguntas não apenas com o objetivo de chamar a atenção do leitor para alguns pontos importantes no texto, mas também de questões que não encontrem resposta dentro da estrutura conceitual apresentada. Com isto estaria se evitando a assimilação indesejável de conteúdos;

- Inclusão, ao final de cada capítulo, de uma bibliografia dos principais personagens envolvidos, ou, pelo menos, daqueles mais conhecidos;

- Desenvolvimento de novas unidades para "fechar" o conteúdo da disciplina, de forma a que o estudante não necessite se adaptar a uma outra sequência de conteúdos de um outro texto.

Os alunos, também mencionaram que o texto é, em geral, bem acessível ao estudante, referendando as opiniões do questionário, mas que necessita ser assimilado gradativamente, por ser um texto "pesado".

Conclusões

As observações em sala de aula, os comentários por escrito dos estudantes e as entrevistas não deixam qualquer dúvida quanto a boa receptividade dos alunos à unidade do texto que aborda os aspectos históricos da relação força e movimento. Esta receptividade, contudo, parece ter tido uma forte relação com a metodologia utilizada para a exploração deste conteúdo. A sessão debate proposta aos estudantes motivou-os a envolverem-se com o texto, se não de uma forma completa, como seria desejável, pelo menos parcialmente, com aqueles conteúdos específicos que eles precisavam defender. Porém, quando se retornou ao sistema convencional de apresentação da matéria em classe, na unidade seguinte, parece que o ânimo dos estudantes arrefeceu. Embora a unidade relativa às leis de Newton seja conceitualmente muito mais "leve" do que a anterior,

¹Foi estipulado que os alunos seriam avaliados, individualmente, por sua participação no debate.

ela não recebeu a devida atenção da parte do aluno, ao menos no que tange a parte conceitual envolvida. Os reflexos deste comportamento fizeram-se sentir no fraco desempenho dos estudantes às duas questões teóricas que lhes foram propostas no teste de avaliação das leis de Newton. Por outro lado, o bom desempenho médio dos alunos nos problemas da prova parece sugerir que o estudante, compreensivelmente, tenha direcionado mais os seus esforços para superar todo um conjunto de dificuldades inerentes aos problemas que precisava solucionar ao final da unidade. Neste sentido importante registrar que, mesmo sem se ter estruturado uma discussão específica sobre as atitudes e as dificuldades dos alunos sobre a resolução de problemas, discutiu-se e exemplificou-se, durante a unidade, a potencialidade dos problemas abertos para o aprendizado da Física, bem como alguns aspectos gerais da resolução de problemas. Isto pode ter contribuído para despertar um interesse maior do aluno nesta área da aprendizagem, e talvez até um melhor rendimento.

Quanto à sequência de conteúdos, propriamente dita, observou-se nitidamente que "ficou faltando" Kepler. Com ele tem início o fim do divórcio entre a Física e a Astronomia. A física do impetus, atribuída como causa da possível rotação da Terra e de outros corpos celestes, por filósofos do século XIV, estendia ao céu um conceito extraído do movimento cotidiano terrestre, é bem verdade, mas representava uma idéia de repercussão limitada junto ao meio acadêmico pois a própria questão da rotação da Terra não estava ainda resolvida permanecendo, para muitos, no campo da hipótese. Já Kepler é guiado pela idéia de explicação causal. "Se o Sol se acha no centro do mundo, é preciso que os movimentos dos planetas não sejam ordenados em relação a ele de uma maneira geométrica ou ótica, como em Copérnico, mas também de uma maneira física e dinâmica."¹⁸ Além do mais, é baseado-se em dados observacionais de Tycho Brahe que Kepler dá um fim definitivo ao postulado secular grego do movimento circular uniforme para os corpos celestes.

Por outro lado, muitas das opiniões dos estudantes entrevistados, quanto à clareza do material instrucional e sobre possíveis ações no sentido de melhorá-lo, mostraram-se bastante pertinentes e serão incluídas em uma nova versão do texto.

Referências Bibliográficas

- VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *Eur. J. Sci. Educ.*, 1(2): 205-21, 1979.
- DRIVER, R. Psicologia cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4: 3-15, 1986.
- SOLIS VILLA, R. Ideas intuitivas y aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 2(2): 83-9, 1984.
- PEDUZZI, S. & PEDUZZI, L. O. Q. Leis de Newton: uma forma de ensiná-las. *Cad. Cat. Ens. Fis.*, 5(3): 142-61, 1988.
- SOLOMON, J. Learning about energy: how pupils think in two domains. *Eur. J. Sci. Educ.*, 5(1): 49-59, 1983.
- GIL PÉREZ, D. & TORREGROSA, J.M. *La resolución de problemas de física: una didáctica alternativa*. Madri/Barcelona, Ministerio de Educación y Ciencia, 1987.
- CLEMENT, J. Solving problems with formulas: some limitations. *Engineering Education*, November 1981.
- REIF, F., LARKIN, J. H. & BRACKETT, G.C. Teaching general learning and problem solving skills. *Am. J. Phys.*, 44(3): 212-7, 1976.
- GARRET, R. M., SATTERLY, D., GIL PÉREZ, D. & TORREGROSA, J.M. Turning exercises into problems: an experimental study with teachers in training. *Int. J. Sci. Educ.*, 12(1): 1-12, 1990.
- MOHAPATRA, J. K. Can problem solving in physics give an indication of how pupils process knowledge? *Int. J. Sci. Educ.*, 9 (1): 117-123, 1987.
- PEDUZZI, L.O.Q. Solução de problemas e conceitos intuitivos. *Cad. Cat. Ens. Fis.*, 4 (1): 17-24, 1987.
- GILBERT, J.K. & ZYLBERSZTAJN, A. A conceptual framework for science education: the case study of force and movement. *Eur. J. Sci. Educ.*, 7 (2): 107-20, 1985.
- PEDUZZI, S. S. Concepções alternativas sobre força e movimento: a ciência dos alunos. In: ZYLBERSZTAJN, A., PEDUZZI, L. O. Q., PEDUZZI, S. S. & SILVA, S. M. *Concepções alternativas em dinâmica: o que podemos fazer a respeito em sala de aula*. Florianópolis, Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, Dez.1991. Publicação interna.
- McCLOSKEY, M. Intuitive physics. *Sci. Amer.*, 248 (4): 114-122, 1983.
- KOYRÉ, A. *Estudos galiláicos*. Lisboa, Publicações Dom Quixote, 1986.
- KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo, Editora Perspectiva, 1987.
- ROBILOTTA, M. R. *Construção e realidade no ensino de física*. São Paulo, IFUSP, 1985. p.IV-10.
- KOSTLER, A. *O homem e o universo*. São Paulo, Ibrasa, 1989.

Apêndice 1 - A sequência de conteúdos Cinemática unidimensional

I.1. Introdução ao estudo da cinemática

- I.2. Representação gráfica de um movimento
 - I.2.1. Gráficos $X \times t$
 - I.2.2. Gráficos $V \times t$
- I.3. Velocidade média
- I.4. Movimento retilíneo uniforme
- I.5. Velocidade instantânea em um movimento retilíneo qualquer a partir de um gráfico $X \times t$
- I.6. Aceleração média
- I.7. Movimento retilíneo uniformemente variado
- I.8. Gráficos $X \times t$ em um movimento retilíneo uniformemente variado
- I.9. Aceleração instantânea em um movimento retilíneo qualquer, a partir de um gráfico $V \times t$
- I.10. Introdução à resolução de problemas
- I.11. A alternativa de uma estratégia para a resolução de problemas em física
- I.12. Comentários sobre a estratégia proposta na seção anterior
 - Questões
 - Referências Bibliográficas

Força e movimento - de Thales a Galileu

I - De Thales a Ptolomeu: as bases do estudo da relação força e movimento

- I.1. Os primórdios da ciência grega: a natureza da matéria para jônicos e pitagóricos
- I.2. Os sistemas cosmológicos de Filolau e Heráclides
- I.3. O dogma do movimento circular uniforme
- I.4. O universo aristotélico
- I.5. O sistema de Ptolomeu
- I.6. A relação força e movimento: implicações históricas e didáticas
 - Questões
 - Referências Bibliográficas

II - A física aristotélica

- II.1. Aristóteles e os movimentos naturais
- II.2. A lei de força de Aristóteles
- II.3. A questão da força e da resistência no movimento natural de uma pedra
- II.4. O movimento violento de um projétil
 - Questões
 - Referências Bibliográficas

III - A física da força impressa

- III.1. Hiparco e a força impressa
- III.2. Filoponos
- III.3. Avicena
 - Questões
 - Referências Bibliográficas

IV - A física do impetus

- IV.1. A teoria do impetus e a sua aplicação ao movimento dos corpos
- IV.2. A teoria do impetus e a rotação da Terra e da esfera das estrelas
 - Questões
 - Referências Bibliográficas

V - As novas concepções do mundo

- V.1. O universo de Nicolau de Cusa
- V.2. O heliocentrismo de Nicolau Copérnico
- V.3. Giordano Bruno e a infinitização do universo
- V.4. Thyco Brahe e o espírito da precisão
 - Questões
 - Referências Bibliográficas

VI - A física de Galileu

- VI.1. Galileu Galilei
- VI.2. As primeiras idéias de Galileu sobre força e movimento
 - VI.2.1 A força impressa no movimento de um projétil
 - VI.2.2 A influência de Arquimedes e a lendária experiência da Torre de Pisa
- VI.3. O movimento acelerado e a queda dos corpos
- VI.4. O movimento neutro e a lei da inércia de Galileu
- VI.5. A questão do movimento de um projétil em um navio em movimento
- VI.6. Galileu e o movimento de projéteis
 - Questões
 - Referências Bibliográficas

As leis de Newton

- I.1. Força, movimento, ... e Isaac Newton
- I.2. A primeira lei de Newton
- I.3. O movimento circular uniforme: uma descrição qualitativa
- I.4. Implicações físicas da primeira lei
- I.5. A relação $\vec{F} = m\vec{a}$
- I.6. A relação $\vec{F} = d\vec{p}/dt$
- I.7. Física newtoniana versus teoria do impetus
- I.8. A terceira lei de Newton
- I.9. Unidades de massa e força
- I.10. Peso de um corpo
- I.11. A física intuitiva e as dificuldades conceituais dos estudantes em relação das leis de Newton
- I.12. Exemplos de aplicação das leis de Newton
 - Questões
 - Referências Bibliográficas