

TEORIA ARISTOTÉLICA, TEORIA DO IMPETUS OU TEORIA NENHUMA: UM PANORAMA DAS DIFICULDADES CONCEITUAIS DE ESTUDANTES DE FÍSICA EM MECÂNICA BÁSICA

(Aristotelian theory, Impetus theory, or no theory at all: an overview of students conceptual difficulties in introductory mechanics)

Flávia Rezende

Laboratório de Tecnologias Cognitivas
NUTES, UFRJ
frezende@nutes.ufrj.br

Susana de Souza Barros

Instituto de Física, UFRJ
susana@if.ufrj.br

Resumo

Este trabalho revê algumas das pesquisas exemplares em concepções espontâneas na área de mecânica realizadas na década de 80¹ e discute as diferentes interpretações propostas. Dentre elas, identificam-se essencialmente três tendências: a que aproxima as concepções dos estudantes à teoria aristotélica, a que vê semelhança entre as idéias dos estudantes e a teoria do Impetus e a não que confere ao conhecimento do estudante o status de teoria. Apesar dessas linhas de interpretação serem diferentes, têm em comum o fato de que são construídas a partir da relação linear entre força e velocidade revelada nas respostas dos alunos. Neste sentido, uma das conclusões relevantes deste trabalho aponta para a consideração dos conceitos de força impulsiva e quantidade de movimento no ensino das relações entre força e movimento e leis de Newton, o que poderia ir ao encontro da física intuitiva e se constituir num caminho para facilitar a construção dos conceitos científicos. Desta forma, o trabalho pretende contribuir para que o professor conheça e reflita sobre as dificuldades conceituais dos alunos e as utilize construtivamente para elaborar estratégias ou escolher materiais didáticos adequados.

Abstract

The present paper reviews some of the exemplary researches produced in the 80's about spontaneous concepts in mechanics, discussing the results interpretations proposed. Three main tendencies were identified: one that associates the student's conceptions to aristotelian ideas; one that sees similarities between the pupil's believes and the theory of Impetus and another that does not confers the status of a theory to the learner's knowledge. In spite of being different, these interpretations are built on the common assumption that a linear relationship between force and velocity revealed in the students' responses. One relevant conclusion suggests that the concepts of impulsive force and linear momentum should be considered to help teach the relationships between force and motion and Newton's laws, in order to match intuitive physics and being a path to facilitate establishing scientific concepts. Thus, the value of the present paper could be to contribute so the teacher may get to know and be able to reflect about students' conceptual difficulties and use them constructively to elaborate new teaching strategies and select adequate didactic materials.

¹ Nesta década foram produzidos trabalhos originais, que serviram de modelo para outras pesquisas nesta área de conhecimento.

Introdução

O elevado índice de reprovação e a falta de motivação para o estudo da física em nível básico universitário tem sido motivo de constante preocupação por parte de professores das instituições de ensino superior no Brasil e no exterior. O aluno que finaliza o nível médio e inicia um curso universitário nas áreas científicas ou tecnológicas geralmente com base conceitual deficiente em matemática e física, sente dificuldades em acompanhar as disciplinas da física básica e é sem dúvida nos conceitos da mecânica onde se acentuam esses problemas (Champagne et al., 1980, Peduzzi et al., 1992).

Os conceitos de mecânica merecem atenção especial porque esta matéria compreende essencialmente a base do conteúdo dos cursos introdutórios de física de nível médio e universitário, sendo por isso crítico o seu domínio (Trowbridge & McDermott, 1980).

A partir dos anos 70, devido à forte influência do construtivismo piagetiano, o interesse da pesquisa em ensino de ciências começou a se voltar para as idéias que os estudantes traziam para as aulas sobre os fenômenos da natureza, mesmo quando ainda não tinham recebido instrução prévia específica sobre os referidos fenômenos. Os primeiros estudos foram realizados na área de mecânica.

À medida em que estudos foram desenvolvidos sobre essas idéias, foi se tornando aceito que elas estão freqüentemente em contradição com o conhecimento científico, que interferem com a forma pela qual os conceitos científicos são assimilados e que costumam persistir após a instrução. Essas características são salientadas na maior parte dos trabalhos.

Descobriu-se que apesar dessas idéias serem construídas individualmente elas são compartilhadas por muitos estudantes. Embora exista variedade nas visões que os estudantes têm sobre os fenômenos físicos, existem padrões ou tendências gerais revelados por estudos realizados em diferentes partes do mundo. O reconhecimento da existência das concepções espontâneas, sua classificação e análise foram uma descoberta de importância fundamental que deu origem a uma linha de pesquisa em ensino de ciências que se desenvolve até hoje.

As concepções dos estudantes sobre os fenômenos físicos se originam na infância, a partir de sua interação com o mundo, através das atividades físicas, na relação com outras pessoas e através da mídia (Driver et al., 1985). Diferentes termos são usados nos trabalhos revistos para representá-las, como por exemplo, *pré-concepções*, *concepções espontâneas*, *intuitivas* ou *alternativas*. Com base em argumentos filosóficos e não somente em semântica, Driver & Easley (1978) propuseram uma diferenciação na terminologia correntemente usada para descrever as concepções dos estudantes. Segundo esses autores, o termo *pré-concepções* (relacionado ao referencial ausubeliano) seria utilizado para identificar concepções sem a característica de compreensão generalizada, própria do conhecimento conceitual; o termo *misconception* representaria má assimilação de teorias ou modelos ensinados; e o termo *referenciais ou conceitos alternativos* representaria a tentativa dos estudantes de explicar sua experiência com o mundo físico. Embora essa terminologia não tenha sido utilizada rigorosamente pelos pesquisadores, mesmo quando utilizam termos diferentes, o sentido da expressão *conceitos alternativos*, é o mais utilizado como a evidência observável das dificuldades conceituais dos estudantes.

Este trabalho revê algumas das pesquisas exemplares em concepções espontâneas na área de mecânica realizadas na década de 80 e discute as diferentes interpretações dadas pelos pesquisadores aos resultados encontrados. Espera-se também que este estudo ajude o professor a compreender melhor as dificuldades conceituais dos alunos, servindo como recurso no processo de ensino-aprendizagem. É bom lembrar que atualmente muitos professores de física têm consciência de que os alunos possuem conceitos espontâneos, embora muitas vezes não tenham ainda incorporado à sua prática pedagógica os resultados das pesquisas realizadas, geralmente restritas à literatura especializada.

Dificuldades Conceituais dos Estudantes em Mecânica Básica

As dificuldades conceituais levantadas neste estudo se concentram basicamente nas relações entre força e movimento e a necessidade de considerar as leis de Newton para compreendê-las. As informações sobre cada estudo seguem uma mesma seqüência: descrição, pergunta(s)/instrumento(s) da pesquisa, resultados e interpretações do(s) autor(es). Os estudos são apresentados em função do conteúdo dos problemas investigados, o que explica que um mesmo trabalho/autor apareça mais de uma vez.

1. Viennot (1979)

Descrição. Foram investigadas as respostas de centenas de estudantes europeus, do último ano do nível médio ou início do curso universitário, a testes escritos nos quais estes faziam previsões sobre aspectos específicos do movimento de um ou mais objetos. Esse estudo foi replicado no Brasil por Villani et al. (1982) tendo sido obtidos resultados equivalentes de maneira geral.

Pergunta. As forças que agem sobre as bolas, no instante mostrado na Figura 1, são iguais ou diferentes?

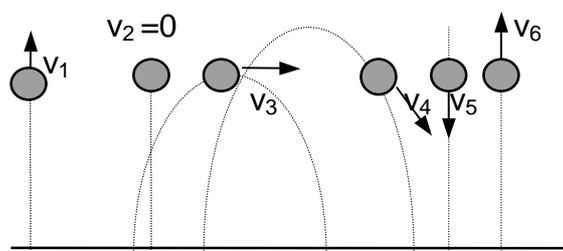


Figura 1. Bolas arremessadas para cima que se encontram à mesma altura no instante t .

Resultado. Aproximadamente 50% dos alunos responderam que as forças são diferentes.

Interpretação. Segundo a autora, existe, para os estudantes, uma *lei intuitiva* que pode ser expressa por $F = kv$ onde F é a força, v a velocidade e k uma constante de proporcionalidade. Para Viennot, esse esquema intuitivo dos estudantes se aproximaria mais da teoria do Impetus² do que da teoria aristotélica. A partir das implicações lógicas dessa lei, as concepções espontâneas dos alunos foram classificadas da seguinte maneira:

- (1) Se $v=0$, então $F=0$, mesmo se a aceleração não for zero. Esta concepção estaria relacionada à resposta errada que não atribui uma força à bola no topo da trajetória de subida no instante em que a bola inverte o movimento.
- (2) Se v é diferente de 0, então F é diferente de 0, mesmo se $a = 0$. Esta concepção, deduzida da lei intuitiva que a autora constrói estaria relacionada à atribuição de uma força ao movimento de um objeto mesmo quando ele se move com velocidade constante (não é extraída da situação apresentada).
- (3) Se as velocidades são diferentes, as forças também são diferentes, mesmo se as acelerações são iguais. Esta concepção estaria relacionada à resposta errada que atribui forças diferentes atuando sobre as bolas da situação apresentada, devido ao fato de que as velocidades são diferentes.

² A teoria medieval do Impetus foi proposta por Philoponus no séc. VI e desenvolvida pelo filósofo francês Buridan e outros no século XIV. Uma afirmação de Buridan mostra como força e movimento se relacionam segundo essa teoria: “quando um corpo é colocado em movimento por um agente externo, ele imprime ao corpo um certo *impetus*, ou seja, uma força que permite ao corpo se mover na direção que o agente externo o submeteu inicialmente, seja para cima, para baixo, para o lado ou em círculo”.

A autora também descobriu que os estudantes utilizam simultaneamente concepções newtonianas e não-newtonianas de força. As circunstâncias específicas da situação determinam qual delas prevalecerá. Quando os estudantes trabalham formalmente com a equação do movimento e são solicitados a calcular a força, usam o conceito de força expresso pela 2ª Lei de Newton. Se, no entanto, o movimento é mostrado em um diagrama e os estudantes acreditam que existe um conflito (a força é oposta à velocidade ou a velocidade é momentaneamente zero e ainda assim a força está atuando sobre o corpo), eles tentam explicar o movimento usando a *lei intuitiva* ($F=kv$), introduzindo uma força na direção do movimento, proporcional à velocidade.

2. Clement (1982)

Descrição. O autor investigou a concepção de 80 estudantes universitários norte-americanos matriculados em cursos introdutórios de mecânica, sobre a relação entre força e movimento através das respostas escritas a um problema simples e entrevistou um pequeno grupo dos estudantes, concomitantemente à resolução do problema.

Pergunta. Na Figura 2 uma moeda é lançada para cima no ponto A, passa pelo ponto B, atinge o ponto C (ponto mais alto da trajetória) e retorna ao ponto E passando pelo ponto D. Desenhe uma ou mais setas que mostre(m) a(s) força(s) que age(m) sobre a moeda no ponto B (utilize setas maiores para as forças maiores).

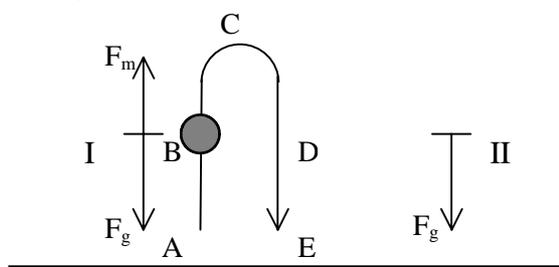


Figura 2. Respostas incorreta típica (I) e correta (II).

Resultados. 88% de respostas incorretas antes do curso de mecânica e 72% após. Estudantes de engenharia que já tinham completado um curso de física (com cálculo) tiveram 70% de respostas incorretas. A resposta incorreta típica (Figura 2-I) mostra a *força da mão* F_m que responsável pelo movimento da moeda para cima. Segundo os estudantes, esta força deveria ser maior que a força peso F_g pois, de outra forma, a moeda deveria se movimentar para baixo.

Interpretação. Estes resultados apoiaram a hipótese do autor de que a concepção pré-newtoniana *todo movimento requer uma força* estaria envolvida nas respostas.

3. diSessa (1988)

Descrição. o problema de um corpo atirado para cima também foi explorado por diSessa, através de entrevistas realizadas com um número pequeno de alunos.

Pergunta. O que acontece quando você joga uma bola para cima?

Resultados. O protocolo típico de um aluno do nível médio ou universitário seria aproximadamente como se segue: *quando você joga uma bola para cima, você fornece uma força que a lança para o ar. Essa força está agindo contra a gravidade e quando vai morrendo a gravidade começa a ser mais importante. O topo da trajetória da bola é o ponto em que a gravidade equilibra a força que foi entregue à bola, após o qual a gravidade supera essa força e faz com que o corpo caia cada vez mais rápido.*

Interpretação. No arremesso, a ação da mão sobre a bola não representa um problema para o estudante. O *primitivo fenomenológico*³ *força responsável pelo movimento* descreve e explica precisamente esta situação. Após o lançamento, a situação é intuitivamente problemática. Para diSessa há um conflito evidente envolvido na situação: enquanto a gravidade quer levar a bola para baixo, ela continua indo para cima até o pico da trajetória. Na subida, primitivos fenomenológicos relacionados a conflito são invocados: interpretado como um movimento contínuo, não violento, ele precisa de uma força contínua como causa. O pico da trajetória invoca contrabalanço, equilíbrio. A trajetória para baixo parece aderir ao primitivos fenomenológico *superação*. Assim, diSessa considera que algo como o impetus seja uma invenção particular para este ou para uma classe relativamente pequena de problemas que contempla os primitivos fenomenológicos associados a essa situação e não um constructo teórico fundamental da física intuitiva. Segundo ele, dificilmente o impetus teria a prioridade que levaria a uma visão teórica sistemática.

4. Champagne et al. (1980)

Descrição. Os autores realizaram um estudo com o objetivo de investigar o efeito combinado da habilidade de raciocínio matemático e conhecimento prévio de mecânica sobre o desempenho em mecânica clássica de 110 estudantes universitários norte-americanos de física. Foram utilizados três instrumentos: (i) demonstração, observação e explicação de um fenômeno que permitiu conhecer o pensamento dos estudantes; (ii) um teste de raciocínio lógico com 10 questões sobre representações diagramáticas e lógicas do mundo físico; e (iii) um teste de habilidades matemáticas com 12 questões.

Pergunta. As perguntas apresentadas no teste (ii) estão relacionadas com a observação de corpos em queda livre e a observação de várias situações do movimento de corpos em uma máquina de Atwood (Figura 3).

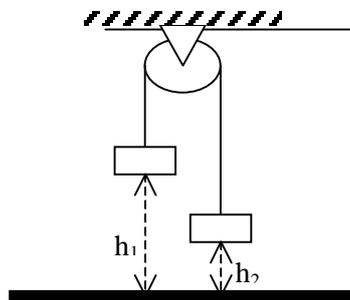


Figura 3. Máquina de Atwood.

Resultados. Aproximadamente um em cinco estudantes da amostra acreditavam que um objeto que cai, adquire instantaneamente uma velocidade máxima, que mantém durante a queda. Cerca de quatro estudantes em cinco acreditavam que, quando todas as outras variáveis são mantidas constantes, objetos mais pesados caem mais depressa que os mais leves. Para 80% dos estudantes, os corpos que estão mais perto do chão na Máquina de Atwood são mais pesados.

³ Segundo diSessa (1988), as concepções dos estudantes são uma coleção de fenômenos reconhecíveis em termos dos quais eles vêem o mundo e algumas vezes o explicam. Esses fenômenos, que diSessa chamou de *primitivos fenomenológicos* são relativamente fáceis de serem gerados na medida em que são abstrações simples do real. Tudo que é necessário é que o fenômeno que forma a base da abstração sobressaia em uma experiência e possa ser descrito dentro do sistema atual de conhecimento do estudante. Por exemplo: a experiência de empurrar um objeto a partir do repouso fazendo com que ele se mova na direção do empurrão pode ser abstraído gerando o primitivo fenomenológico *uma força é responsável pelo movimento*.

Interpretação. A análise dos resultados do teste mostrou que os estudantes tinham, em geral, um conjunto amplo de idéias interrelacionadas que podem ser pensadas como um sistema pessoal de crenças do senso comum sobre movimento e que difere muito do sistema formal da mecânica newtoniana. Segundo os autores, as seguintes regras caracterizam esse sistema:

- (1) sempre que uma força é aplicada a um objeto, produz movimento;
- (2) sob a influência de uma força constante, os objetos se movem com velocidade constante;
- (3) o módulo da velocidade é proporcional ao módulo da força; qualquer aceleração é devida ao aumento da força;
- (4) na ausência de forças, os objetos estão ou em repouso, ou se eles estiverem em movimento, sua velocidade está diminuindo.

No mundo real, com o atrito sempre presente, essas regras refletem o que o observador vê, fornecendo uma aproximação razoável do comportamento de objetos. Além disso, dada a insensibilidade da visão humana para detectar a aceleração dos objetos, não é surpresa que a aceleração não tenha o papel importante que a velocidade tem nas idéias geradas pelo senso comum.

5. McCloskey (1983a)

Descrição. O autor investigou a concepção de 50 estudantes de nível médio sobre lançamento de projéteis.

Pergunta. Foi solicitado aos estudantes que desenhassem a trajetória de um projétil lançado horizontalmente desprezando a resistência do ar.

Resultados. 5% dos alunos indicaram que os projéteis se movem em linha reta e em um dado momento caem verticalmente (Figura 4, resposta A), 35% acreditaram que o projétil se move inicialmente em linha reta e depois começa a cair em curva, continuando na vertical (Figura 4, resposta B); 28% dos alunos escolheram a trajetória parabólica (Figura 4, resposta C) e a maior parte dos 32% restantes indicou corretamente uma queda imediata vertical ignorando entretanto a componente horizontal do movimento (Figura 4, resposta D).

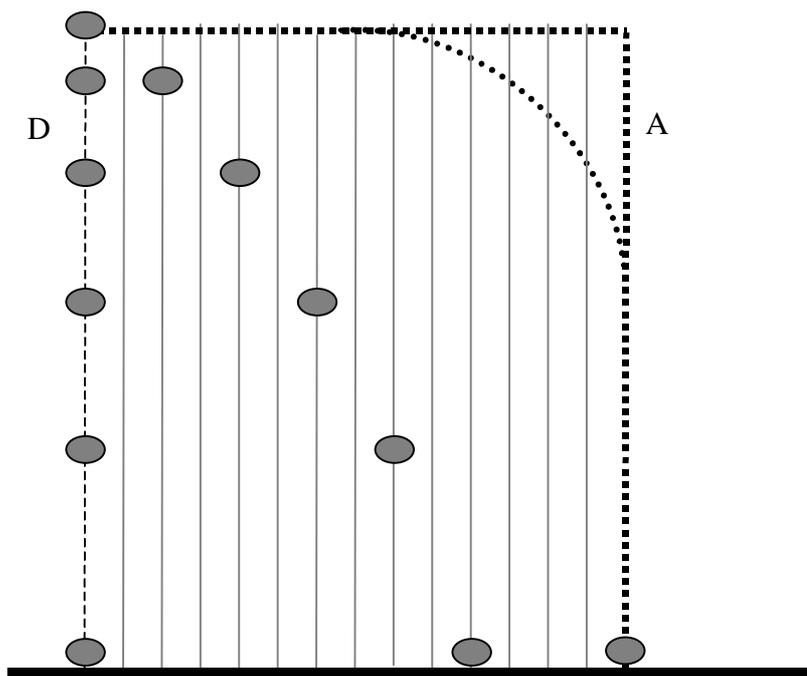


Figura 4. Respostas incorretas (A), (B) e (D) e resposta correta (C).

Interpretação. Para McCloskey (1983a), os sujeitos do estudo recapitularam a teoria do Impetus em suas crenças sobre o movimento do projétil. Os 5% que desenharam a trajetória A apresentam visão semelhante a do filósofo aristotélico Avicenna, cientista persa que viveu no ano 1000. As idéias dos 35% que indicaram a trajetória B estão coerentes com as de Alberto de Saxonia, filósofo escolástico do século XIV. Para o autor, a semelhança entre as visões dos filósofos medievais e as respostas dos estudantes sugere que a teoria do Impetus é um resultado natural da experiência do cotidiano que aparece intuitivamente nas concepções dos estudantes.

6. Watts & Zylbersztajn (1981)

Descrição. Os pesquisadores aplicaram um teste de múltipla escolha a 125 estudantes (14 anos de idade) de escolas inglesas sobre o conceito de força. Concomitantemente, os professores foram entrevistados e solicitados a fazer previsões sobre quais seriam as escolhas dos alunos. Assim foram obtidas informações sobre a percepção dos professores em relação às formas de pensamento dos seus alunos.

Perguntas. Em todas as questões do teste são apresentados desenhos relacionados ao conceito de força. O aluno deve escolher uma resposta e explicá-la. Foi incluída uma opção “cientificamente correta” e uma (ou mais) que corresponde(m) a concepções alternativas já descritas por outros pesquisadores. As questões tratam das noções de força e gravidade, da associação dos conceitos de força e movimento; das relações entre ação, reação e movimento; e do peso de um objeto.

Resultados. As respostas dos estudantes às 6 questões sobre força e movimento indicaram que 85% dos estudantes associaram força e movimento indevidamente. No caso da situação física de uma pedra lançada verticalmente para cima, indicaram uma força dirigida para cima e no caso do lançamento de uma bola de canhão, uma força agindo segundo a tangente à trajetória da bola no sentido do movimento. No caso das questões sobre o “cabo de guerra”, 85% das respostas indicaram que quem “ganha” o jogo está aplicando uma força maior sobre a corda.

Numa questão que mostra dois carros iguais em repouso sobre um plano inclinado em alturas diferentes em relação ao solo e pergunta quanta força será necessária para manter os carros em repouso, 48% dos alunos responderam que o carro que está mais alto em relação ao solo precisa de uma força maior para ficar em repouso. Também houve explicações que consideraram que o ângulo do plano inclinado seria maior para o carro que está mais alto.

Os professores tiveram dificuldades para fazer as previsões sobre as escolhas dos alunos devido às suas próprias dificuldades conceituais.

Interpretação. Os autores afirmam que as explicações alternativas não se enquadram dentro de um único referencial como diversas pesquisas levam a pensar. Há evidência clara da dificuldade das escolhas cientificamente corretas após anos de escolaridade o que deixa claro que os referenciais alternativos não são simplesmente ‘apagados’ pelo ensino formal. É sugerido que os pontos de vista dos alunos e dos professores sejam trabalhados tanto na perspectiva de atacar suas limitações como de aproveitar suas potencialidades.

7. Clement (1982)

Descrição. O autor investigou a concepção de 150 estudantes de Engenharia que ainda não tinham cursado física sobre a relação entre força e movimento apresentando um problema com entrevistas.

Pergunta. Um foguete se movimenta lateralmente no espaço com o motor desligado de A para B (Figura 5) afastado de qualquer outro corpo e sem forças externas agindo sobre ele. O motor é ligado no ponto B, aplicando uma força perpendicular ao sentido do movimento durante o tempo

suficiente para que o foguete atinja o ponto C, quando o motor é desligado. É solicitado ao estudante que desenhe as trajetórias do foguete entre B e C e após o ponto C.

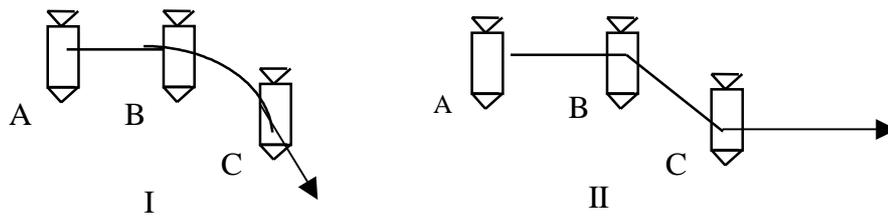


Figura 5. Resposta correta (I) e incorreta (II).

Resultados. 89% dos estudantes desenharam trajetórias incorretas entre B e C e 62% desenharam trajetórias incorretas a partir do ponto C (Figura 5-II).

Interpretação. O autor considerou difícil que um estudante sem instrução em física desenhasse corretamente a trajetória parabólica entre os pontos B e C. A entrevista mostrou que muitos estudantes desenharam a trajetória horizontal após o ponto C, por acreditarem na existência de uma força contínua na direção do movimento entre A e B (mesmo que o problema afirmasse que não havia forças externas atuando nesse trecho) que volta a atuar após o motor ter sido desligado.

Os resultados das entrevistas e o padrão consistente de erros indicaram para o pesquisador que os erros não são casuais mas ao contrário, estão baseados numa pré-concepção estável que é compartilhada por muitos indivíduos e que pode se desdobrar nas seguintes características:

- (1) o movimento contínuo, mesmo com velocidade constante, pode levar à hipótese da presença de uma força na direção do movimento.
- (2) as forças inventadas são comuns em situações de objetos que continuam em movimento diante de uma força oposta. O objeto continua em movimento porque a força inventada é maior que a oposta.
- (3) as forças inventadas extinguem-se ou crescem para justificar mudanças nas velocidades do corpo.

8. McDermott (1984)

Descrição. A pesquisadora trabalhou com tarefas de laboratório para explorar a compreensão conceitual de estudantes universitários sobre força e a relação entre força e movimento. O critério usado para a avaliação da compreensão foi a habilidade de aplicar um conceito ou uma relação entre conceitos relacionados ao movimento de objetos.

Pergunta. Em uma atividade experimental, os estudantes foram solicitados a explicar o movimento de discos sobre uma mesa horizontal com atrito desprezível.

Resultados. O estudo deixou claro que os problemas conceituais apresentados pelos estudantes são complexos e não poderiam ser resumidos adequadamente como apenas na crença da necessidade de ter uma força na direção do movimento.

Interpretação. Segundo a autora as respostas dos estudantes indicaram a ausência de um sistema conceitual consistente. O uso que fizeram da palavra *força* e de outros termos técnicos foi ambíguo e instável.

9. McCloskey et al. (1980)

Descrição. Os autores relataram os resultados de um experimento projetado para avaliar a compreensão do princípio de inércia de Galileu segundo o qual um objeto se move em linha reta na ausência de forças externas. Os sujeitos da pesquisa foram 50 estudantes universitários que responderam um teste escrito contendo problemas simples com entrevistas.

Pergunta. Um diagrama mostrando um tubo circular no qual se movimentava uma esfera (Figura 6) é apresentado ao estudante e solicitado que desenhasse a trajetória da esfera ao deixar o tubo circular no ponto B.

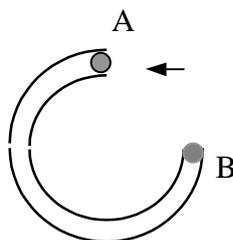


Figura 6. Esfera que se movimentava num tubo circular.

Resultados. 49% dos alunos sem instrução em física, 34% dos que estudaram física no nível médio e 14% daqueles que haviam completado um ou mais cursos universitários de física desenharam trajetórias curvilíneas, ou seja, não reconheceram que na ausência de forças externas um corpo se movimentava em linha reta. Um estudo semelhante incluindo 50 estudantes de nível médio (McCloskey, 1983a) mostrou que 33% responderam da mesma forma.

As entrevistas mostraram que a maior parte dos sujeitos que desenharam trajetórias curvilíneas pensava que um objeto forçado a se movimentar em um caminho curvilíneo adquire uma força ou um momento que faz com que ele continue numa trajetória circular por algum tempo após ter saído do tubo. Essa força ou momento eventualmente se dissipa, e a trajetória do objeto gradualmente volta a ser retilínea.

Interpretação. Para McCloskey et al. (1980), as crenças dos estudantes são semelhantes às dos teóricos do impetus que postularam um impetus circular que tanto servia para explicar a manutenção da rotação de uma roda quanto para manter o movimento das esferas celestes em torno da Terra.

10. diSessa (1988)

Descrição. O autor apresentou pequenas variações ao problema de McCloskey, com o objetivo de verificar a existência de explanações do tipo “impetus” no movimento circular. Os sujeitos do estudo foram crianças das primeiras séries e do final do nível fundamental e adultos leigos em física. O objetivo foi observar se as respostas dos sujeitos entrevistados poderiam ser caracterizadas parcial ou totalmente em termos de impetus circular de forma consistente.

Perguntas. Foram apresentadas duas perguntas com objetivos semelhantes: (i) O que acontece com a bola que está na extremidade de um barbante que roda quando este é cortado? e (ii) Uma bola se movimentava sobre uma mesa sob um túnel circular. O que acontece quando o túnel é retirado? (vide Figura 6).

Resultados. Do ponto de vista newtoniano e da teoria do Impetus, trata-se de compreender o que acontece com um corpo em movimento circular quando as causas que o produzem deixam de agir. Os sujeitos fizeram vários tipos de previsões e nas explicações as respostas mudaram de acordo com as situações descritas na pergunta. Nenhum respondente deu e manteve explicações consistentes de impetus circular.

11. McCloskey (1983b)

Descrição. O autor apresentou um problema sobre lançamento horizontal a 135 estudantes de Psicologia.

Pergunta. O problema apresenta um diagrama de uma esfera de metal que cai de uma mesa horizontal após percorrer uma certa distância com velocidade constante (Figura 7) e solicita que o estudante desenhe a trajetória da esfera durante a queda.

Resultados. 74% desenharam trajetórias aproximadamente parabólicas (Figura 7, resposta A); 22% dos estudantes desenharam um arco inicial e a seguir uma linha vertical (Figura 7, respostas B e C), o que implicaria velocidade horizontal decrescente.

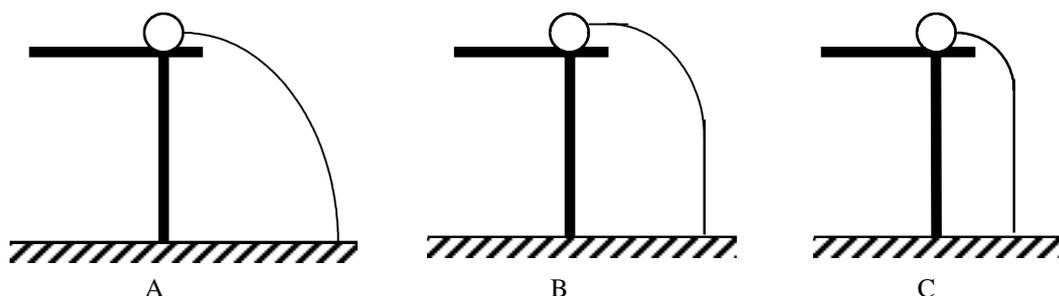


Figura 7. Resposta correta (A) e respostas erradas mais freqüentes (B e C).

Interpretação. Para McCloskey, esses erros não são casuais mas sistemáticos, dada a sua consistência. Segundo este autor, a maior parte deles se baseia sistematicamente em uma *teoria coerente de movimento* elaborada pelos estudantes. McCloskey chama atenção para o fato de que esta teoria se aproxima muito mais da teoria do Impetus do que da teoria aristotélica pois os estudantes acreditam que o movimento é mantido por uma força impressa no próprio objeto e não através do contato direto com um agente externo, como acreditava Aristóteles.

12. Whitaker (1983)

Descrição. O autor aplicou um teste sobre a trajetória do movimento utilizando como base os experimentos de Galileu a 40 estudantes matriculados em diferentes cursos introdutórios de física com e sem cálculo.

Perguntas. O teste continha seis questões que solicitavam que os estudantes descrevessem o movimento de objetos de massas diferentes que se encontravam em queda livre na vizinhança da Terra (3 questões) e o movimento de queda de corpos após terem sido lançados com velocidade horizontal constante (2 questões).

Resultados. O autor comparou o desempenho dos dois grupos de estudantes, observando que ambos mostraram desempenho semelhante. Somente 25% das respostas corretas foram acompanhadas de justificativas corretas nos problemas que envolviam movimento de um projétil com velocidade horizontal inicial não nula. Considerando todos os itens, foram obtidas 30% das respostas corretas com justificativa correta.

Interpretação. O exame das respostas dos estudantes revelou que eles acreditam que uma força é necessária para manter o movimento e que uma vez que a força que está empurrando um objeto horizontalmente é removida, o movimento horizontal desaparece e o objeto cai verticalmente. Nesse raciocínio está implícita a falha do reconhecimento de que as componentes horizontal e vertical da velocidade são independentes uma da outra assim como a dificuldade de reconhecer que uma vez em movimento o objeto manterá a velocidade vetorial na direção em que se está movimentando.

O aspecto mais revelador das dificuldades conceituais dos estudantes é a inconsistência das explicações dadas para questões similares. Além desse resultado, o autor verificou que as

dificuldades conceituais em mecânica parecem ser relativamente independentes do conhecimento matemático do estudante.

Interpretação das Dificuldades Conceituais: Teoria Aristotélica, Teoria do Impetus ou Teoria Nenhuma

Na maioria das pesquisas revistas, os pesquisadores interpretaram as dificuldades conceituais dos estudantes em mecânica comparando-as à teoria aristotélica ou a do Impetus. Entretanto, alguns autores argumentaram contra o status de teoria conferido ao pensamento dos estudantes enfatizando a ausência de um sistema conceitual consistente. Esta seção discute alguns dos principais argumentos das linhas de interpretação.

Teoria aristotélica. Aristóteles divide o movimento terrestre em natural e violento. O movimento natural era aquele no qual os corpos, dependendo da matéria que os constitui, se dirigiam para seus lugares naturais (para os corpos pesados seria o centro da Terra, por exemplo). No caso dos movimentos que ele chamou de violentos, uma força seria necessária para manter o corpo em movimento, e quando a força deixasse de agir este voltaria ao seu lugar natural. Vários autores da idade média traduziram suas idéias na expressão matemática $V=P/M$ sendo V a velocidade do corpo, P o processo inercitivo que lhe dá movimento e M a resistência do meio. De acordo com esta lei, seguidores de Aristóteles concluíram que um aumento na velocidade poderia ser conseguido com um aumento da força. Para explicar o movimento de um projétil após seu lançamento, Aristóteles atribuiu ao meio, no caso o ar, um papel cinético além de resistivo. Assim, além de impor uma resistência ao movimento do corpo, o ar (localizado na retaguarda do corpo) transmitiria a ele a força necessária para mantê-lo em movimento.

Os estudos de Champagne et al. (1980) e de Watts & Zylbersztajn (1981) identificaram as regras do sistema de crenças dos estudantes com os aspectos descritivos da física aristotélica. Entretanto, Champagne et al. (1980) ressaltam que o paradigma aristotélico dos estudantes não está inteiramente desenvolvido e articulado, e portanto, seu conhecimento prévio poderia ser descrito, neste sentido, como pré-paradigmático. Devido à sua estrutura solta, sem interconectividade e formalismo superior, o pensamento do estudante poderia aceitar uma nova informação localmente sem produzir qualquer conflito com outras partes do sistema, permanecendo fundamentalmente *aristotélico*.

Teoria do Impetus. A teoria medieval do Impetus afirma que um objeto colocado em movimento adquire um impetus que serve para manter seu movimento. Para explicar o fato de que os corpos em movimento tendem a parar, alguns teóricos do impetus assumiram que ele se dissipa espontaneamente, enquanto Buridan argumentava que influências externas como a resistência do ar seriam responsáveis pela sua diminuição.

Viennot (1979) admitiu um paralelo entre o esquema intuitivo dos estudantes e a teoria do Impetus. Segundo a autora, o esquema intuitivo é auto-consistente e por isso resiste ao ensino de conceitos conflitantes. O sistema de crenças do estudante, apesar de estar em conflito com o sistema newtoniano, seria capaz de lidar com a maioria das situações encontradas na vida diária sem contradição.

Os trabalhos de McCloskey et al., (1980) e McCloskey (1983a, b) são representativos dessa linha de interpretação por considerarem as concepções espontâneas dos estudantes como uma teoria intuitiva do impetus, devido às semelhanças com a teoria medieval. Essa teoria se baseia em duas afirmações fundamentais sobre movimento: (i) o ato de colocar um objeto em movimento transmite ao objeto uma força interna ou *impetus* que serve para manter o movimento; e (ii) o *impetus* de um objeto se extingue (gradualmente, espontaneamente ou como resultado de influências externas) e conseqüentemente o objeto, aos poucos, se move mais lentamente até parar.

Para McCloskey (1983a), a forte semelhança entre as visões medievais e a dos sujeitos testados, sugere que a teoria do Impetus poderia ser um produto natural da experiência das pessoas

com o movimento na Terra. Segundo ele, não seria difícil pensar em como a experiência do dia-a-dia poderia levar à idéia básica de que os objetos são mantidos em movimento por uma força interna que gradualmente se dissipa, já que na maior parte das situações, um objeto colocado em movimento acaba eventualmente parando.

Clement (1982) associou às concepções espontâneas dos estudantes a expressão *todo movimento requer uma força* e a identificou às teorias pré-newtonianas de movimento tal qual a força impetus que viaja com uma flecha em movimento ou a explanação aristotélica do movimento horizontal de uma flecha após ser solta de um arco, impulsionada por forças, na mesma direção, providas de correntes de ar que mantêm seu movimento.

Teoria Nenhuma. McDermott (1984) concluiu, a partir de seus estudos sobre as dificuldades conceituais dos estudantes em mecânica, que sistemas de crença aristotélicos ou medievais sugeridos por muitos autores para interpretá-las seriam inadequados para dar conta de erros cometidos na análise de situações físicas mais complexas.

diSessa (1982) arriscou como uma possível explicação para as *pré-concepções* dos estudantes, a experiência com o mundo real, que muitas vezes está de acordo com a teoria de chutar na direção do movimento que se pretende obter. Ela é suficiente para impulsionar uma bola de bilhar e funciona sempre que o impulso define a quantidade de movimento existente. Além disso, em muitas circunstâncias, a pessoa arranja as condições para que a teoria funcione, como, por exemplo, quando um jogador de futebol pára a bola antes de chutá-la. Sobretudo, estando o atrito sempre presente no mundo real e não havendo nenhum agente visível como sua causa, seria o caso de se pensar em tratar implícita ou explicitamente o amortecimento do movimento como uma outra lei da natureza pois somente após compreender a visão de Newton é possível adquirir uma razão para considerar o atrito como uma força a ser incluída na explanação.

Para diSessa (1988), a física intuitiva pode ser melhor compreendida como um conjunto de fragmentos de conhecimento (os primitivos fenomenológicos) do que por um conjunto de estruturas integradas, que constituiriam uma teoria. Assim, diSessa considera que algo como o impetus seja uma invenção particular para uma classe relativamente pequena de problemas e não um constructo teórico fundamental da física intuitiva. Segundo ele, dificilmente o impetus teria prioridade no pensamento do estudante de modo a levá-lo a uma visão teórica sistemática.

A interpretação de diSessa (1988) salienta a fragmentação e falta de consistência existente entre os primitivos fenomenológicos, na medida em que diferentes indivíduos, possuindo um mesmo conjunto de primitivos fenomenológicos, poderiam não fornecer a mesma explicação de um fenômeno físico, já que várias combinações seriam possíveis relacionando-se a diferentes aspectos do problema.

Whitaker (1983) faz alusão à visão aristotélica dos alunos sobre movimento de projéteis. Apesar disso, suas conclusões dão ênfase à inconsistência das concepções dos alunos como um dos principais entraves à compreensão dos conceitos científicos.

Conclusões

Foi possível perceber que tanto a interpretação das concepções alternativas dos estudantes que compara-as às teorias pré-newtonianas de movimento quanto a interpretação que não admite este paralelo por considerar que as idéias dos alunos não se articulam em uma visão sistemática do mundo físico têm um aspecto comum: a relação linear entre força e velocidade na visão dos alunos.

Para as duas linhas de interpretação, foi considerado o raciocínio espontâneo dos estudantes como se fosse expresso nos mesmos termos que o dos especialistas em física (Viennot, 1985), o que implica a compreensão correta dos conceitos físicos de velocidade e de força associados incorretamente. Se isto é colocado em dúvida, poderia se pensar que os estudantes relacionam alguma outra grandeza ao movimento de um objeto que tanto poderia ser o impulso (que o colocou em movimento) quanto a sua quantidade de movimento. As respostas dos estudantes passariam assim, a não estar mais erradas. É bom lembrar que o termo “força” pertence ao vocabulário familiar do aluno e a expressão “quantidade de movimento”, embora não esteja, é auto-explicativa.

Entretanto, não é comum considerar estes conceitos quando se estão analisando as relações entre força e movimento e leis de Newton nas situações de pesquisa e tampouco no ensino da física curricular. Em geral, noções como a de força impulsiva, quantidade de movimento são consideradas isoladamente ou no estudo das leis de conservação.

Neste sentido, a consideração dos conceitos de força impulsiva e de quantidade de movimento nas situações físicas utilizadas para o ensino das relações entre força e movimento e leis de Newton poderia ir ao encontro da física intuitiva (na medida em que responderiam pelo movimento) e se constituir um caminho para a superação das dificuldades conceituais.

Na análise da situação do lançamento da bola para cima, no exemplo de diSessa, é sugerido que a força atribuída pelos estudantes ao objeto seria uma metáfora para a *quantidade de movimento*, esclarecendo que esta não é uma força, não decresce por si mesma nem se combina ou entra em conflito com outras forças, o que poderia contribuir produtivamente para a compreensão científica do fenômeno.

À despeito do melhor caminho para interpretar as concepções espontâneas dos alunos, é consensual entre os pesquisadores a recomendação de que o professor deve levar em conta o fato de que os estudantes têm pré-concepções, em geral em contradição com a física formal, sob pena de sua instrução servir apenas para fornecer ao estudante uma terminologia nova para expressar suas crenças errôneas (McCloskey et al., 1980).

Assim, os resultados da pesquisa em concepções alternativas podem e devem ser utilizados como um diagnóstico das dificuldades conceituais dos estudantes a ser incluído no planejamento do professor. Ainda que não haja consenso sobre as estratégias de ensino mais adequadas tendo como ponto de partida as concepções alternativas, essas pesquisas deixaram claro que ainda a pior das estratégias seria ignorá-las. diSessa (1982) reforça essa recomendação quando admite que “a profundidade da nossa compreensão do estado de conhecimento do estudante e nossa inteligência em engajar suas sutilezas podem determinar o sucesso ou a falha dos nossos esforços de ensino”.

Referências

- Champagne, A. B., Klopfer, L. e. & Anderson, J. H. Factors influencing the learning of classical Mechanics. *American Journal of Physics*, V.48(12), Dec., 1980.
- Clement, J. Students' preconceptions in introductory in Mechanics. *Design* V.50(1), jan, 1982.
- diSessa, Andrea A. Unlearning aristotelian physics: a study of knowledge-based learning. *Cognitive Science*, 6,37-75,1982.
- diSessa, A. Phenomenology and the Evolution of Intuition. In D. Gentner & A. Stevens. *Mental Models*. London: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1983.
- diSessa, A. Knowledge in pieces. In G. Forman & P. Pufall (Eds.), *Constructivism in the Computer Age*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1988.
- Driver, R. & Easley, J. Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61-84, 1978.
- Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. Children's ideas and the learning of science. In: *Children's Ideas in Science*. Open University Press, Milton Keynes, 1985.
- McCloskey, M., Caramazza, A. & Green, B. Curvilinear Motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects. *Science*, V.210(4474), 1980.
- McCloskey, M. Intuitive Physics. *Scientific American*, V.248(4), April, 1983a.
- McCloskey, M. Naive Theories of Motion. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental Models*. (pp. 299-323). London: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1983b.
- McDermott, L. C. Research on conceptual understanding in Mechanics. *Physics Today*, July, 1984.
- Peduzzi, L. O., Zylbersztajn, A. & Moreira, M. A. 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. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, V.14(4),1992.
- Trowbridge, D. E. & McDermott, L. C. Investigation of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, V.48(12), Dec, 1980.

- Viennot, Laurence. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European J. of Science Education*, V.11, 205-221, 1979.
- Viennot, L. Analyzing students' reasoning: tendencies in interpretation. *Design* V.53(5), May, 1985.
- Villani, A., Pacca, J. L. A., Kishinami, R. I. & Hosoume, Y. Analisando o ensino de física: Contribuições de pesquisas com enfoques diferentes. *Rev. Ensino de Fís.*, V.4, 1982.
- Watts, M. & Zylbersztajn, A. A survey of some childrens' ideas about force. *Physics Education*, V.16(6), 1981.
- Whitaker, R. Aristotle is not dead: Student understanding of trajectory motion. *American Journal of Physics*, V.51(4), April, 1983.