

Força e Movimento na Ciência Curricular*

(Force and motion in curricular science)

Luiz O. Q. Peduzzi

Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina

88040-900 - Florianópolis, SC, Brasil

Recebido para publicação em 12 de Fevereiro de 1992; Aceito para publicação em 29 de Maio de 1992

Resumo

Este trabalho examina como a concepção inercial de movimento é apresentada em diversos livros de texto do ensino médio brasileiro e em dois projetos de ensino de Física. A pouca ou quase nenhuma ênfase em aspectos históricos do relacionamento entre força e movimento fragiliza, sobremaneira, a apresentação do princípio de inércia nos materiais instrucionais analisados. A própria introdução do conceito de força, em diversos textos, mostra-se inadequada, em termos didáticos, face aos resultados de pesquisas na área de concepções alternativas em Dinâmica.

Abstract

This paper examines how the inertial conception of motion is presented in different Brazilian high school textbooks as well as in two physics education projects. The little or almost no emphasis in historical aspects of the relationship between force and motion truly weakens the introduction of the inertia principle in the analysed instructional materials. In several textbooks even the introduction of the concept of force ends up as inappropriate in didactical terms, given the research findings in the area of alternative conceptions in Dynamics.

1. Introdução

Dentro do modelo¹ que situa o processo ensino aprendizagem como uma série de interações que envolvem a 'ciência dos cientistas' (assim designada para expressar o corpo de conhecimento, de caráter dinâmico, construído e aceito, pela comunidade científica), a 'ciência curricular' (entendida como uma versão particular do conhecimento científico produzida com a finalidade de ser utilizada em um determinado contexto de ensino), a 'ciência dos professores' (compreendida como o conjunto de noções e idéias que os professores detêm a partir das interpretações que dão aos materiais instrucionais que utilizam à luz de suas próprias estruturas conceituais) e a 'ciência dos alunos' (conjunto de idéias, expectativas e significados à palavras que os estudantes possuem e que trazem para a sala de aula), a 'ciência curricular', sem dúvida, desempenha um papel de fundamental importância. Afinal, é no livro de texto, ba-

sicamente, que o professor encontra subsídios para a preparação de suas aulas e o aluno uma referência para o desenvolvimento de seus estudos. Contudo, estará a 'ciência curricular', particularmente no que se refere à relação força e movimento, devidamente articulada com os demais elos desta cadeia? Para examinar esta questão, no contexto do ensino médio, se analisará, primeiramente, como a concepção inercial de movimento é apresentada em diversos livros de texto e em dois projetos de ensino de Física. Em seguida se verificará se a 'ciência dos alunos', cuja importância para o ensino da Física, e no caso específico das leis de Newton, vem sendo ressaltada principalmente na última década por um extenso número de artigos em revistas científicas, é, de alguma forma, levada em consideração nesses materiais instrucionais. Os livros e projetos analisados serão identificados ao longo do texto de forma resumida, de acordo com o seguinte código:

*Este trabalho é parte integrante do texto "Concepções Alternativas em Dinâmica: o que podemos fazer a respeito em sala de aula", desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Desenvolvimento Conceitual do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina.

[N & T]

[R, I, N & T]

[B]

Nicolau & Toledo.²

Ramalho, Ivan, Nicolau & Toledo.³

Bonjorno.⁴

- [M & L] Moretto & Lenz.⁵
 [R, A & E] Robertella, Avelino & Edson.⁶
 [I] Ivan.⁷
 [C] Chiqueto.⁸
 [C & P] Chiqueto & Parada.⁹
 [B & M] Beatriz & Máximo.¹⁰
 P E F Projeto de Ensino de Física.¹¹
 P S S C Physical Science Study Committee.¹²
 (com tradução em Português)

A ciência dos cientistas nos livros de texto e em projetos de ensino: o caso da relação força e movimento

A física aristotélica, a física da força impressa/impetus e a física de Galileu, partes integrantes do longo e árduo caminho trilhado em direção ao princípio da inércia, realçam a 'ciência dos cientistas' como um empreendimento essencialmente coletivo, passível de muitos erros e acertos, que é impulsionado por idéias que são fontes de discussão e sementes de novas idéias. No entanto, muitos livros de texto como os de [N & T], [R, I, N & T], [B] e [M & L], limitam-se ao enunciado puro e simples das leis de Newton sem qualquer preocupação em situá-las dentro de um contexto histórico, por mais breve que seja. A tarefa dos autores resume-se em exemplificá-las e propor a sua aplicação em um grande número de situações problema. Com este enfoque ao ensino desta importante parte da Física corre-se o risco de passar o leitor a idéia geral de que não só as leis de Newton mas de que a própria ciência é um empreendimento essencialmente individual, fruto de uns poucos gênios sempre bem sucedidos em seus intentos. Não se pode ignorar a contribuição científica de pensadores que com seus esforços e idéias (nem sempre no 'rumo certo', é bom ressaltar) contribuíram direta ou indiretamente para que se tornassem viáveis grandes sínteses do conhecimento, da qual a mecânica de Newton é um belo exemplo, sob pena de desvirtuar o desenvolvimento da própria ciência.

Em [R, A & E] os autores procuram estabelecer uma ligação entre o conhecimento da Mecânica anterior a Galileu e Newton e o que passou a ser aceito a partir deles, tomando Aristóteles como um referencial básico. Assim escrevem, antes de enunciar o princípio da inércia, que "a maioria dos antigos sábios gregos - dentre eles o famoso Aristóteles - sustentava que o estado natural dos corpos era o repouso. Para que eles saíssem deste estado era necessária a ação de uma força e, quando esta força deixava de agir, o movimento terminava e os corpos voltavam, imediatamente, a seu estado natural, o repouso." Em um novo parágrafo continuam: "A influência deste raciocínio foi tão grande que até hoje muitas pessoas pensam deste modo. Coube ao sábio italiano Galileu Galilei apresentar os fatos como realmente são, mostrando que Aristóteles e muitos outros sábios gregos não estavam certos."

Novamente, o valor didático desta abordagem é cer-

tamente muito limitado. Fica-se com a nítida sensação de que a menção a Aristóteles é feita com o simples propósito de estabelecer um trampolim capaz de possibilitar (ou quem sabe até justificar) o salto de quase dois mil anos até Galileu. Mas por que tamanha simplificação sobre o ponto de vista aristotélico do movimento se este serve como contraste à visão não inercial?

[I], quando comenta 'O que é a Física', no início de seu livro, ensaia, timidamente, algumas linhas sobre a visão de mundo aristotélica, referindo-se a conceitos como os de lugar natural e movimento natural, mas que acabam caindo no rol do que se poderia denominar de 'curiosidades sobre a Física', na medida em que o autor compartimentaliza estas concepções ao não mencioná-las quando desenvolve as leis de Newton em capítulo posterior.

[C], que faz um interessante apanhado sobre o universo aristotélico no início do seu livro, referindo-se, entre outras coisas, à posição central da Terra no Universo, à constituição de todas as coisas terrestres a partir de uma combinação dos elementos terra, água, ar e fogo, à imutabilidade da região celeste em que tudo é eterno e formado de um quinto elemento, o éter, e a ordem que impera neste Universo, também peca por não resgatar algumas destas idéias no capítulo em que desenvolve as leis do movimento. Na introdução que faz a Dinâmica, ele escreve que "A partir de Galileu Galilei, o conceito de inércia ganhou um significado completamente novo. Até então, a inércia era considerada apenas como a tendência dos corpos a permanecer em repouso; vigorava, desde Aristóteles, a idéia de que o repouso era o único estado em que um corpo podia permanecer indefinidamente. Com Galileu, ficamos sabendo que também o movimento constitui um estado que tende a se converter, se não for contrariado." Como se vê, o seu procedimento, aí, se assemelha ao de [R, A & E] mencionado anteriormente.

Um melhor encadeamento de idéias envolvendo a contraposição das visões aristotélica e galileana do movimento é desenvolvido por [C & P]. Os autores iniciam a seção relativa ao princípio da inércia relacionando o ponto de vista aristotélico ao senso comum das pessoas, segundo o qual é necessária a ação de uma força continuamente aplicada a um corpo para a manutenção do seu movimento. Assim, "Aristóteles afirmava que, para manter um corpo em movimento, era necessária a aplicação de uma força; e que, cessada essa força, o corpo retornaria 'naturalmente' ao seu estado de repouso. O repouso era, então, considerado o 'estado natural' de todas as coisas. Reforçando a idéia de Aristóteles, temos o seguinte fato experimental: precisamos aplicar uma força para imprimir movimento a um corpo que esteja em repouso sobre um plano horizontal, e, uma vez retirada essa força, o corpo irá gradualmente diminuindo de velocidade, até parar. Daí a conclusão de que a força é necessária para a manutenção do movimento." Em seguida, indu-

zem o leitor a aceitar a validade do princípio da inércia fazendo referência a experiências realizadas por Galileu “que mostraram que a conclusão de Aristóteles, baseada na simples observação do fenômeno, não levou em conta a existência da força de atrito entre as superfícies, responsável pelo retardamento do corpo. A força necessária para manter o corpo em movimento, na realidade, está apenas anulando o efeito da força de atrito. Reduzida a força de atrito, através do polimento, o movimento se mantém ‘naturalmente’.” E completam: “Galileu concluiu que a ação de uma força é responsável pela modificação da velocidade de um corpo e que a sua manutenção é uma tendência natural. Portanto, o ‘estado natural’ de um corpo tanto pode ser o repouso como o movimento retilíneo uniforme, pois essas situações ocorrem quando há ausência de forças. A ausência de forças deve ser entendida como equivalente à existência de um sistema de forças cujos efeitos se anulam. Esta descoberta de Galileu foi chamada de princípio de inércia...”

Semelhante a esta última abordagem está a desenvolvida por [B & M] que, sem mencionar conceitos como os de lugar e movimento natural, também associam o pensamento de Aristóteles à experiência diária de manutenção de um movimento via puxão ou empurrão. Os autores, logo em seguida, procuram levar o leitor a aceitar como válido o movimento retilíneo uniforme de um corpo, em condições ideais, depois de impulsionado, referindo-se a experiências realizadas por Galileu com uma esfera em movimento sobre um plano horizontal, movimento este que só não é permanente, isto é, só não ocorre indefinidamente em linha reta, devido à existência do atrito. Ressaltando a seguir o conceito de inércia os autores concluem: “As experiências de Galileu o levaram a atribuir a todos os corpos uma propriedade denominada inércia, pela qual um corpo tende a permanecer em seu estado de repouso ou de movimento. Em outras palavras: se um corpo estiver em repouso ele, por inércia, tende a continuar parado e só sob a ação de uma força é que poderá sair deste estado; se um corpo estiver em movimento, sem que nenhuma força atue sobre ele, o corpo tende, por inércia, a se mover em linha reta com velocidade constante. Será necessária uma força para aumentar ou diminuir sua velocidade ou para fazê-lo desviar-se para um lado ou para outro.”

Estes dois últimos enfoques ao princípio da inércia, os mais completos, em princípio, realçam o papel da experimentação, real, concreta, no processo indutivo que teria levado Galileu à concepção inercial de movimento. Contudo, a argumentação de Galileu em favor de um movimento neutro numa superfície plana com inclinação nula baseia-se em experiências de pensamento, que nada têm a ver com a generalização de dados de laboratório para uma situação ideal de atrito nulo.

A versão empirista de Galileu, que o coloca partindo do experimento para a obtenção do conhecimento,

não encontra respaldo nem em seus estudos sobre a queda livre. As experiências reais que Galileu desenvolveu com esferas descendo planos de diferentes inclinações tiveram como única função mostrar a validade da relação dat^2 para esta situação, comprovando a sua hipótese previamente estabelecida de que a natureza se vale de um movimento com aceleração constante na queda dos corpos.

Apesar de já há algum tempo encontrar pouca receptibilidade entre os historiadores da ciência, a figura empirista de Galileu é a que geralmente se apresenta nos livros de texto, mesmo universitários. A discussão por estes livros de outras versões de Galileu, como um platonista ou herdeiro da física medieval, por exemplo¹³, seria de grande utilidade para a formação do professor e do aluno, que assim não ficariam, como hoje acaba ocorrendo, com uma imagem predominantemente empirista da ciência.

Também o pensamento aristotélico, quando mencionado nos livros de texto aqui analisados, resume-se, basicamente, à sua idéia compulsória de força para a manutenção de um movimento. Por que, então, citar Aristóteles, se esta é uma concepção aceita por qualquer pessoa leiga em Física? Seria mais produtiva a referência a Aristóteles dentro de um contexto que expressasse de forma mais completa o seu pensamento a respeito do movimento dos corpos, o qual está diretamente ligado a sua concepção de mundo. O meio, e não só a força, desempenha um papel de destaque na dinâmica aristotélica. O vácuo, para Aristóteles, não existe; assim como não existe, também, movimento sem resistência, devido às suas consequências inerciais. Para rejeitar o movimento no vazio Aristóteles, curiosamente, acaba utilizando como argumento o que a partir do século XVII seria conhecido como o princípio da inércia. Segundo suas próprias palavras, “[Deste modo] ninguém poderá dizer por que uma coisa uma vez colocada em movimento deveria parar aqui ou ali? Assim uma coisa estará ou em repouso ou movendo-se ‘ad infinitum’ a menos que algo mais forte se lhe oponha como obstáculo.”¹⁴ Aristóteles, de fato, não pode aceitar este princípio porque um movimento infinito implicaria num Universo sem limites, o que era inconcebível para ele. Este interessante fato histórico, no entanto, não está presente nos livros de texto.

A antiperistasis aristotélica, por outro lado, poderia servir de ponto de partida para uma discussão mais abrangente do ‘movimento violento’ de um projétil sob a ótica da força impressa de Hiparco (século II. a.C.) e de Filoponos (século VI) e das teorias do impetus dos séculos XIV e XV, dois importantes temas completamente ausentes, hoje, na ‘ciência curricular’.

Entre os projetos de ensino, o princípio da inércia recebe no PEF uma abordagem totalmente experimental, de acordo com a linha do projeto que enfatiza a experimentação. Através da análise da influência de lubrificantes sobre o movimento de um disco impulsionado

ao longo de uma superfície horizontal, e do emprego de fotos estroboscópicas em algumas situações de movimento, os autores argumentam em favor de Galileu, rechaçando Aristóteles, que só é citado, brevemente, pelo relacionamento que faz entre força e movimento.

Na contra capa da encadernação relativa ao capítulo em que desenvolvem o princípio da inércia, os autores comentam os problemas que Galileu (defensor de heliocentrismo) teve com a Igreja Católica (partidária do geocentrismo), principalmente a partir da publicação de sua obra *Diálogos Sobre os Dois Grandes Sistemas do Mundo*, em 1632, que acabaram lhe valendo a prisão domiciliar perpétua. Não ressaltam, contudo, as implicações da defesa do copernicanismo junto a formulação de uma física que contempla uma visão inercial de movimento. Com a clara intenção de apenas mencionar as duas grandes obras de Galileu, finalizam: *"Em 1638, já perto do fim da vida, Galileu publicou os Diálogos Sobre Duas Novas Ciências, obra em que fundamenta a Mecânica Moderna. É lá que aparece pela primeira vez o princípio da inércia, o conceito de aceleração e a afirmação de que a aceleração dos corpos em queda é constante."*

Já no P S S C os autores mostram que a busca ao entendimento de fatos aparentemente desconexos entre si, como o movimento das coisas que são empurradas, a queda dos corpos e o movimento permanente dos corpos celestes, foi uma das metas do intelecto humano desde há muito tempo. Ressaltando que na época de Aristóteles estas três situações encontravam, respectivamente, explicação na lei aristotélica de força, na concepção da Terra como centro do Universo e no fato de ser a matéria celeste diferente da terrestre e, portanto, obedecer a diferentes leis, encaminham a discussão para o princípio da inércia. Novamente há um grande salto de Aristóteles a Galileu. *"Durante dois mil anos, após a época de Aristóteles, a diferença aparente entre os movimentos celestes e o movimento sobre a Terra, impediu qualquer progresso significativo em Dinâmica. Foi então que, no século dezessete, Galileu deu o primeiro grande passo explicar de uma só vez ambos os tipos de movimento."*

Na discussão sobre o princípio da inércia, os autores examinam como Galileu chegou a conclusão de que o movimento retilíneo uniforme não exige força, salientando as suas observações e experiências pensadas com o plano inclinado. Com propriedade levam o leitor a concluir que se um plano não está nem em declive (onde há uma causa de aceleração), e nem em auge (onde há retardamento), não haverá nem causa de aceleração nem causa de retardamento no movimento de um corpo (se o atrito também puder ser desprezado) e este resultará constante.

À semelhança dos demais textos, neste projeto não se encontra nenhuma consideração sobre o movimento dos corpos à luz da teoria do impetus introduzida por Buridan no século XIV, que originou uma série de no-

vas críticas não só às considerações de Aristóteles sobre força e movimento mas à própria concepção aristotélica de mundo. A associação de um impetus à rotação da Terra ou da esfera das estrelas fixas, por exemplo, tal como a um pião ou a um globo posto a girar em torno de seu eixo, trazia consigo, ainda que de forma insipiente, a idéia de se ter uma só Física para explicar tanto eventos terrestres quanto celestes. O próprio Galileu, em seus primeiros estudos sobre o movimento e suas causas, utilizou a teoria do impetus para explicar o movimento de um projétil depois de arremessado pelo projetor.

As implicações físicas e astronômicas decorrentes da aceitação de um movimento sem força também não são examinadas pelos textos quando introduzem e discutem o princípio da inércia. Com isso, este tema acaba isolado de um contexto mais amplo de idéias do qual ele necessariamente faz parte.

O princípio da inércia, na 'ciência curricular', se constitui na grande porta de entrada para o estudo da dinâmica. A sua apresentação, exceto em [M & L] (que discute a 2a. lei antes da 1a.), precede à introdução das demais leis de Newton em todos os textos. Através da presente análise, contudo, fica claro que a veiculação deste princípio nos textos atualmente destinados ao professor e aluno necessita de uma ampla reformulação. Este princípio, que representa o começo de uma nova Física, tem o potencial de se constituir na importante mola propulsora de uma discussão que, resgatando aspectos históricos do relacionamento entre força e movimento, pode propiciar não apenas um exemplo específico do desenvolvimento do conhecimento científico, mas uma melhor compreensão sobre a própria evolução do conceito de força.

A 'ciência dos alunos' nos livros de texto e em projetos de ensino: o caso da relação força e movimento

As concepções alternativas de estudantes de qualquer nível de escolaridade sobre a relação força e movimento constituem-se em um forte obstáculo ao aprendizado significativo das leis de Newton^{15,16}. Estruturadas segundo esquemas conceituais coerentes, com amplo poder explicativo, com frequência compartilhadas por muitos estudantes, estas concepções, que resistem ao ensino de conceitos que com elas conflitam, não são discutidas nos livros de texto e em projetos de ensino. Mas se isto, de fato, não poderia ocorrer em textos mais antigos, chega a ser surpreendente que pelo menos resultados de consenso da intensa pesquisa desenvolvida nesta área a partir do início da última década já não tenham sido incorporados pelos autores em textos recentes.

O descompasso entre a pesquisa e a prática dos livros didáticos, a nível de Dinâmica, pelo menos, pode ser constatado quando se examina a discussão preliminar sobre a noção de força que precede a introdução

formal das leis de Newton em diversos textos. A experiência diária das pessoas com o movimento e o repouso de objetos é utilizada pelos autores para caracterizar intuitivamente força como um puxão ou empurrão, e conceituá-la como um agente físico capaz de causar deformações e variações na velocidade de um corpo. A ação à distância de um corpo sobre outro é também apontada como um exemplo de força onde não existe contato macroscópico entre os objetos.

Assim, [M & L], através da seguinte sequência de perguntas e respostas,

a) *Uma bola está parada em um campo de futebol. O que deve fazer o jogador para pô-la em movimento?*

Deve aplicar-lhe uma força por meio de um chute.

b) *Uma bola foi chutada em direção ao gol. O que deve fazer o goleiro para segurá-la?*

Deve aplicar-lhe uma força que lhe tire o movimento.

c) *Uma bola foi lançada em direção ao gol com grande velocidade. Vendo que não pode agarrá-la, o que deve fazer o goleiro para impedir que ela entre no gol?*

Deve aplicar-lhe uma força que desvie sua trajetória.

d) *Um menino brinca com uma bola de barro. O que deve fazer para transformá-la em um boneco?*

Deve aplicar-lhe uma força que mude a sua forma."

concluem que:

"Força é um agente capaz de:

a) imprimir movimento a um corpo;

b) cessar o movimento de um corpo;

c) desviar a trajetória de um corpo em movimento;

d) mudar a forma de um corpo."

[R, A & E] introduzem força como um agente físico, de natureza vetorial, responsável por deformações e alterações na velocidade de um corpo. Ao exemplificá-la, destacam a relação causa e efeito deste processo: quando uma pessoa empurra continuamente uma caixa esta se movimenta, variando de velocidade; quando uma raquete golpeia uma bolinha de tênis ela sofre alteração em sua velocidade; quando uma pessoa puxa uma mola ela se deforma. Finalizando, chamam a atenção para o fato de que as forças sempre ocorrem aos pares e que para caracterizar perfeitamente uma força é preciso especificar a sua intensidade, a sua direção e o seu sentido.

[B & M] apresentam o conceito de força escrevendo: "Quando exercemos um esforço muscular para puzar ou empurrar um objeto, estamos lhe comunicando uma força; uma locomotiva exerce força para arrastar os vagões; um jato d'água exerce força para acionar uma turbina etc.. Assim, todos nós temos, intuitivamente, a idéia do que seja força". Chamando em seguida a atenção para o caráter vetorial de uma força continuam a sua exposição distinguindo uma força de contato de uma força de ação à distância: "Um outro exemplo de força com que lidamos freqüentemente é a força de atração da Terra sobre os corpos situados próximo à sua

superfície. Esta força é denominada peso do corpo... A força de atração da Terra sobre um objeto, assim como as forças elétricas e magnéticas (força de um ímã sobre um prego, por exemplo) são exercidas sem que haja necessidade de contato entre os corpos (ação à distância). São diferentes das forças citadas no início desta seção, as quais só podem atuar se existir um contato entre os corpos".

Para [C & P], "O conceito de força é intuitivo, pois faz parte de nossa vida diária: precisamos fazer força para erguer um livro, arrastar uma cadeira ou abrir uma porta. A Terra exerce força sobre os corpos atraindo-os para si; uma mesa exerce força sobre um corpo apoiado sobre ela, impedindo-o de cair; um ímã exerce força sobre um pedaço de ferro, atraindo-o etc..." Os autores, então, conceituam força como um agente capaz de produzir uma alteração na forma de um corpo e uma variação em sua velocidade. Ressaltando o aspecto vetorial desta última, citam, como exemplo, a força produzida pelo motor que altera o módulo da velocidade de um carro e a força que o Sol exerce sobre a Terra que altera a direção da sua velocidade.

A abordagem introdutória ao conceito de força, nestes livros, é essencialmente a mesma que a desenvolvida por [R, I, N & T], que data de 1976 e que portanto é anterior ao estudo das concepções alternativas em Dinâmica. Neste caso os autores comentam que "A noção de força está associada ao esforço muscular. Quando empurramos um objeto exercemos força sobre o mesmo. Há forças produzidas por outras causas diferentes do esforço muscular. Assim, há forças de ação do vento, de atração entre cargas elétricas, etc.. Independentemente das causas que as provocam (esforço muscular, ação do vento, atração entre cargas etc.) as forças serão estudadas pelos efeitos que produzem. Em dinâmica, o efeito principal de uma força é a variação de velocidade de um corpo." E enfatizam: "Forças são agentes que produzem as variações de velocidade de um corpo."

O valor didático destas apresentações, contudo, é limitado. É o próprio senso comum das pessoas, do qual os autores esperam valer-se, que determina, fundamentalmente, esta limitação, já que vários dos exemplos apresentados envolvendo a noção de força não podem ser entendidos pelo estudante do 2º grau por estarem em confronto direto com as suas idéias intuitivas. Assim:

a) Força e velocidade, na 'ciência dos alunos', mantêm uma proporcionalidade direta. Deste modo, o vínculo de uma força a uma variação de velocidade, mesmo no caso mais simples de um movimento unidimensional, sem uma adequada discussão teórica que passa, necessariamente, pelo princípio da inércia, encontra uma forte resistência na lei intuitiva $F \propto V$. Por esse motivo, está longe de ser aceito com facilidade pelo estudante que uma mudança na direção da velocidade de um corpo tenha necessariamente como causa

uma força (ou componente de força) perpendicular a esta velocidade. Não é absolutamente claro, então, o exemplo mencionado por [C & P] de que a força que o Sol exerce sobre a Terra altera a direção da velocidade da Terra. Por outro lado, a mudança de direção de uma bolinha de tênis ao ser atingida por uma raquete ([R, A & E]), ou de uma bola desviada por um goleiro ([M & L]), como um exemplo puro e simples de força, simplifica perigosamente uma situação física que posteriormente exigirá um grande esforço de entendimento do aluno ao relacionar impulso com variação de quantidade de movimento;

b) para alguns estudantes um corpo inanimado não pode exercer força sobre outro corpo. Portanto, o exemplo mencionado por [C & P] de que uma mesa exerce força sobre um corpo apoiado sobre ela impedindo-o de cair pode não ter a obviedade esperada pelos autores;

c) as concepções alternativas do estudante em relação à gravidade são tão diversificadas que se torna inútil a tentativa de [B & M] e de outros autores em apresentarem o peso de um corpo como exemplo de força, logo em uma abordagem preliminar deste conceito;

d) parece prematuro, como fazem alguns autores, sugerir a existência de forças entre cargas elétricas (que provavelmente o aluno nem saiba o que seja) ou entre um ímã e limalhas de ferro, sem uma fundamentação teórica que passa pela compreensão das 2a. e 3a. leis de Newton.

As semelhanças entre certas concepções mantidas por estudantes sobre a relação força e movimento e esquemas de pensamento historicamente superados também não são discutidas na 'ciência curricular'. A pouca ênfase histórica dada a Aristóteles e a ausência por completo de qualquer comentário sobre as teorias do ímpetus e força impressa inviabilizam qualquer tentativa neste sentido. Com isso acaba-se perdendo uma excelente oportunidade de novamente lançar-se mão da história da mecânica em favor do ensino da dinâmica, desta feita para propiciar ao estudante um termo de comparação entre algumas de suas idéias que conflitam com a ciência atual e importantes concepções discutidas no passado.

A mudança conceitual, que com frequência se faz necessária, do esquema intuitivo $F \propto V$ para a dinâmica newtoniana tem chances remotas de se operar dentro de uma 'ciência curricular' que ignora as concepções prévias do aluno e que, via de regra, prioriza o envolvimento do estudante em tarefas de resolução de problemas e questões sem o devido embasamento teórico. Em decorrência disso o aluno acaba envolvendo-se muitas vezes com exercícios de aplicação de teorias que contradizem o seu senso intuitivo, que pouco ou quase nada contribuem para a sua aprendizagem.

A resolução de problemas se constitui, sem dúvida, em uma importante área da aprendizagem da Física, em geral, e é por isso mesmo que a 'ciência curricular'

pode e deve veicular problemas (sejam de enunciados abertos¹⁷ ou mesmo de enunciados tradicionais¹⁸) que assegurem uma participação mais consciente do solucionador, de modo a evitar soluções mecânicas improdutivas. A implementação desta e de outras práticas certamente representará mais uma importante contribuição no somatório das ações que necessitam ser desenvolvidas na 'ciência curricular' para aproximá-la mais da ciência dos cientistas e da 'ciência do aluno'.

Conclusões

Mesmo sem pretender esgotar o assunto objeto da presente análise fica claro, através das críticas e dos comentários desenvolvidos ao longo deste trabalho, que a apresentação da relação força e movimento na 'ciência curricular' necessita de uma ampla reformulação. A discussão do princípio da inércia nos livros de texto e em projetos de ensino precisa ser repensada. A 'ciência dos alunos' não pode continuar ausente em futuros materiais instrucionais. Os elaboradores de textos didáticos têm por obrigação estarem atentos aos resultados das pesquisas educacionais para poderem incorporar em seus projetos, no mínimo, resultados de consenso desta pesquisa. Estas, ao menos, são condições necessárias para viabilizar um modelo de ensino com enfoque construtivista que vise uma maior articulação entre a 'ciência curricular' e as 'ciências' dos cientistas, dos professores e dos alunos.

Agradecimento

Agradeço aos professores Arden Zylbersztajn, Sônia Silveira Peduzzi e Sonia Maria da Silva pelas discussões e sugestões relativas a este trabalho.

Referências Bibliográficas

1. ZYLBERSZTAJN, A. A conceptual framework for science education: the case study of force and movement. *Eur. J. Sci. Educ.*, 7(2): 107, 1985.
2. FERRARO, N.G. & SOARES, P.A.T. *Física Básica*. São Paulo, Atual Editora, 1981.
3. RAMALHO JUNIOR, F., SANTOS, J.I.C., FERRARO, N.G. & SOARES, P.A.T. *Os fundamentos da física*. São Paulo, Editora Moderna, 1975. V.I. Mecânica.
4. BONJORNO, R.F.S.A., BONJORNO, J.R. & BONJORNO, V. *Física*. São Paulo, Editora FTD, 1985.
5. MORETTO, V.P. & LENZ, U. *Física em módulos de ensino*. São Paulo, Editora Ática. Mecânica.
6. ROBERTELLA, J.L.C., ALVES FILHO, A. & OLIVEIRA, E.F. *Mecânica: dinâmica: teoria e exercícios*. São Paulo, Editora Ática, 1982.
7. SANTOS, J.I.C. *Conceitos de física*. São Paulo, Editora Ática, 1987. V.I.

8. CHIQUETTO, M.J. *Física na escola de hoje*. São Paulo, Editora Scipione, 1987.
9. PARADA, A.A. & CHIQUETTO, M.J. *Física*. São Paulo, Editora Scipione, 1985. V.1 Mecânica.
10. ALVARENGA, B. & MAXIMO, A. *Curso de Física*. São Paulo, Editora Harbra, 1987. V.1.
11. Projeto de Ensino de Física. *Força, inércia e aceleração*. São Paulo, MEC/FENAME/PREMEN. Cap.6.
12. Physical Science Study Committee. *Física*. São Paulo, Livraria Editora, 1967. Parte III.
13. ZYLBERSZTAJN, A. Galileu - um cientista e várias versões. *Cad. Cat. Ens. Fis.*, 5: 36-48, 1988. Número Especial.
14. FRANKLIN, A. Principle of inertia in the middle ages. *Am. J. Phys.*, 44(6): 529-45, 1976.
15. 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.
16. HEWSON, P.W. La enseñanza de 'força y movimiento' como cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(2): 157-71, 1990.
17. GIL PÉREZ, D. & TORREGROSA, J.M. *La resolución de problemas de física: una didáctica alternativa*. Madri/Barcelona, Ministerio de Educación y Ciencia, 1987.
18. PEDUZZI, L.O.Q. Solução de problemas e conceitos intuitivos. *Cad. Cat. Ens. Fis.*, 4(1): 17-24, 1987.