

**DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DA DINÂMICA: REFERENTE PARA A
EVOLUÇÃO DAS CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES SOBRE FORÇA E MOVIMENTO***
(The historical development of dynamics: framework for the evolution of students'
conceptions of force and motion)

João Batista Siqueira Harres

jbharres@fates.tche.br

UNIVATES - Centro Universitário - Lajeado - BRASIL

Resumo

Tomando como referência o desenvolvimento histórico da dinâmica, realiza-se um contraste entre uma escala evolutiva das concepções de estudantes (futuros professores) sobre força e movimento. Os dados mostram que, adotando-se algumas posturas epistemológicas e metodológicas recomendadas a partir de trabalhos de revisão da pesquisa sobre o que os estudantes sabem sobre força e movimento, encontra-se uma realidade mais complexa dessas idéias. Estas, denominadas de 'concepções intermediárias' identificam-se fortemente com os modelos explicativos construídos posteriores à física aristotélica e anteriores à visão newtoniana, caracterizando o que alguns autores chamam de "física da força impressa". Ao final, discute-se as implicações dos resultados para o ensino e, especialmente, a formação de professores.

Palavras-chave: história da ciência; dinâmica; força e movimento

Abstract

Taking the parallelism between the historical process of the building of science and the development of the intuitive ideas of children, this work mention the force and motion conceptions of future teachers. The understandings, that we call "intermediate conceptions", is far away from making any reference to aristotelian and newtonian views. Starting from the papers review the research shows that if we adopt recommendations of metodological and epistemological non-absolutist foundations, we find a complex view of these conceptions. At the end we discuss the implications for teaching and teacher's education.

Keywords: history of science; dynamics; force and motion

Introdução

A pesquisa nas relações entre o desenvolvimento cognitivo individual e o processo histórico de desenvolvimento conceitual tem uma longa história cuja referência principal são os trabalhos de Piaget. Em palavras de Kuhn (1987), "a ontogenia cognitiva recapitula a filogenia científica". Entretanto, segundo Matthews (1994), na obra de Piaget este paralelismo estaria pouco claro e menos claro ainda em quem se inspirou nele. Isto não impediu que, no movimento das pesquisas sobre as concepções alternativas, esse paralelismo, principalmente no campo da dinâmica, não houvesse sido, embora com críticas (Hashweh, 1986), razoavelmente confirmado. Isso levou à advertência feita por Carey (1986) de que uma compreensão da complexidade da mudança conceitual requeria necessariamente o conhecimento de história e filosofia da ciências.

Porém, parece que essa linha de pesquisa encontra-se hoje em situação paradoxal. De um lado, já está disponível uma enorme gama de concepções catalogadas e analisadas em diferentes contextos, conceitos, níveis, etc. cuja relevância para o ensino é inegável. De outro lado, a falta de um fundamento teórico comum (Soto e Sanjosé, 2000) ou, muitas vezes a falta de qualquer fundamento (Moreira, 1994), que permita o contraste de metodologias e dos resultados, pode levar a crer que este campo de pesquisa, especialmente nas concepções sobre força e movimento, estaria concluído (Solano e outros, 1997). De fato, é consenso na comunidade de que as propostas de mudança conceitual que daí se elaboraram pouco avançaram (Villani, 1992 e Soto e Sanjosé, 2000).

* Trabalho apresentado no I Encontro Ibero-americano sobre Investigação em Educação em Ciências, Burgos, Espanha, 16-21 de setembro de 2002.

Segundo Porlán e Rivero (1998) o principal problema dessas estratégias residia na visão simplista dessa mudança, suportada por um absolutismo epistemológico implícito que considera o conhecimento científico como um conhecimento hierarquicamente superior a qualquer outro, especialmente o conhecimento cotidiano.

Solano e outros (1997 e 2000) apontam esse mesmo problema na sua ampla revisão, distribuída em dois artigos, de pesquisas nas concepções sobre força e movimento. Esses autores selecionaram pesquisas publicadas de 1979 a 1995 nas principais revistas de ensino de ciências (Enseñanza de las Ciencias, European Journal of Science Education, Physics Education e Science Education) e concluem que a maioria *são marcadamente descritivos e realizam a busca de informação exclusivamente determinada pelo próprio conteúdo objeto de pesquisa* (p. 246). De forma inadequada em relação ao pensamento epistemológico atual (Harres, 1999), o conhecimento científico acaba sendo o fundamento teórico na qual as idéias dos alunos são identificadas.

Nessa pesquisa, partindo-se do paralelismo das concepções históricas com aquelas construídas pelos estudantes, testa-se a hipótese de que é possível um avanço adotando uma perspectiva epistemológica evolutiva, não absolutista e não relativista radical (Porlán e Harres, 1999) que permeie não só a interpretação histórica mas também a interpretação do pensamento dos alunos e da própria metodologia da pesquisa.

Assim, analisa-se as concepções sobre força e movimento de futuros professores, recém saídos do Ensino Médio, em relação a uma visão histórica evolutiva cuja característica principal consiste em considerar que o “salto” da física aristotélica (mais relacionada ao conhecimento cotidiano) para a física newtoniana (conhecimento científico) não é “quântico”. Concretamente, denominamos de “concepções intermediárias” todas aquelas idéias dos alunos que situam-se evolutivamente entre estes dois extremos. De acordo com o paralelismo com o desenvolvimento histórico da dinâmica buscado, isso nos leva à necessidade de contrastarmos essas idéias com o que Peduzzi e Zylberstajn (1997), entre outros autores, chamam de “física da força impressa”.

Segundo esses autores, na perspectiva atual de considerar as idéias dos alunos no ensino, essa física traz implicações didáticas importantes pois, quando se examina as idéias dos alunos sobre o movimento de projéteis, encontra-se, em geral, um senso comum muito diferente da justificativa de Aristóteles para a manutenção desse movimento (“antiperistasis”). Para os alunos, a causa do movimento está localizada no próprio corpo, resultante da interação do projétil com o seu projetor. E este é essencialmente o conceito de força impressa, introduzida pelo astrônomo Hiparco (séc. II AC) e adotado por Filopón (séc. VI), entre outros e que, mais tarde será bastante desenvolvida na Idade Média e que influirá também no pensamento de Galileu, Kepler e Newton.

Concretamente, como parte de uma pesquisa maior sobre como trabalhar com as idéias dos alunos na formação profissional, toma-se o caso da continuidade do movimento de projéteis após seu lançamento como elemento para diferenciação dos modelos históricos construídos para dar conta das relações entre força e movimento para verificarmos seu potencial para a identificação do nível de evolução das idéias dos alunos.

Desenvolvimento histórico da dinâmica

No caso das relações entre força e movimento, a história da ciência mostra que a transição da física de Aristóteles para a de Newton não ocorreu pela simples substituição da primeira pela segunda ou, em outras palavras, do conhecimento “errado” pelo conhecimento “correto”.

Para Aristóteles os movimentos ocorriam devido a uma ação violenta, pois o natural era que os corpos estivessem em repouso. Um corpo só se moveria se sofresse a ação constante de um agente externo. Para Neves (1999), essa física possui uma formidável coerência lógica, pois “se baseia na ocorrência de fenômenos em um meio altamente dissipativo, onde o atrito joga um papel

decisivo” (p.35). Nela, (i) a natureza do corpo determinaria a velocidade adquirida; (ii) as velocidades adquiridas seriam sempre constantes e (ii) não existiria o vácuo, pois um movimento nesse meio teria velocidade infinita.

A questão mais controversa da Física de Aristóteles se refere à “antiperistasis”, um conjunto complexo de movimentos que o ar teria que fazer para manter os projéteis em movimento após serem lançados. Para Hiparco, essa idéia era “não somente incrível como também bastante fantástica” (Grant, 1983, in Neves, 1999). Na verdade, Aristóteles, coerente com uma visão geocêntrica e estática da Terra, não concebia a possibilidade de um corpo manter-se em movimento sem um agente *motor*. Segundo Neves (1999) essa “dinâmica” ficou conhecida na Idade Média pela asserção *cessante causa cessat effectus* sendo portanto “uma física basicamente não inercial” (p.36).

A partir daí, a análise da evolução histórica da dinâmica poderia ser sintetizada pelo debate entre os que defendiam e os que atacavam a idéia de um corpo poder mover-se sem a ação de um agente externo. Enfim, esse debate histórico centra-se no conceito de inércia, isto é, na tendência dos corpos manterem-se ou não em movimento. Tanto a “antiperistasis” quanto a “física da força impressa” são, no fundo, modelos explicativos criados para dar conta do fato de que os corpos se mantêm em movimento após o lançamento, mas que não rompem totalmente com a visão de um mundo estático no qual o estado natural das coisas é o repouso.

Peduzzi e Zylberstajn (1997) fazem uma descrição muito completa desse período de desenvolvimento da dinâmica e a sua análise da evolução das noções de *força impressa* e *impetus* foi tomada como referência para o contraste com a evolução das idéias dos alunos. Para estes autores, a Física da força impressa:

(...) é um elemento fundamental nas discussões que se estabeleceram, principalmente a partir do século XII, sobre a existência ou não do vácuo e de todo o tipo de consequências que decorrem do possível movimento de um projétil em um meio sem resistência. Parece também ter convertido-se em um ponto de referência para o estabelecimento da teoria do impetus de Buridan, no século XIV. Também Galileu, em seus primeiros estudos sobre o movimento de projéteis, fez uso do conceito de ‘força impressa’. (p. 352)

Nessa revisão é fácil perceber a longa caminhada que a física da *força impressa* ou do *impetus* enfrentou para desenvolver-se. O que caracteriza todo esse longo período são os contínuos avanços e retrocessos. Em diferentes momentos são atribuídas à força impressa características e identidades variáveis, conforme o autor. Outras vezes, concebe-se e em outros nega-se a existência do vácuo. E, ainda, alguns autores consideram adequadamente o atrito e outros não.

Parece ser Oresme (1325-1382), apoiado na crítica severa à dinâmica aristotélica e na estruturação da teoria do *impetus*, feita inicialmente por seu mestre Buridan (1300-1358), quem constrói talvez a alternativa pré-newtoniana (ou pré-inercial) mais bem elaborada. Para ele um projétil lançado, por exemplo, teria uma *força motriz impressa*, um certo *impetus*, na mesma direção na qual o agente motor o estava movendo (inclusive circularmente) cuja intensidade (atribuída ao corpo) seria tanto maior quanto maior fosse a velocidade do projétil. Enquanto que para Buridan esse *impetus* seria uma qualidade permanente, só extingüível pela resistência do ar, o que impossibilitaria a existência do vácuo, pois nele os projéteis não parariam nunca, para Oresme o *impetus* seria auto-extingüível, resulta daí que nenhum movimento seria infinito, admitindo portanto a existência do vácuo. Aqui, a resistência ao princípio de inércia origina posições logicamente consistentes contra e favor da existência do vácuo.

Avaliando esse período histórico com o conhecimento de que dispomos hoje, pode-se construir uma imagem bem mais complexa da dinâmica. De um lado, percebe-se que a evolução histórica até o pensamento newtoniano, cuja construção e elaboração estendeu-se por muitos anos após a sua morte, não foi um caminho linear nem fácil. Gallileu também sentiu-se atraído pela teoria do *impetus* como uma explicação melhor para o movimento de projéteis. Mais tarde, a idéia

de impetus foi um obstáculo para sua progressão em direção ao princípio de inércia (Saltiel e Viennot, 1985). A análise de Peduzzi e Zylberstajn (1997) mostra que os argumentos de Galileu, embora mais elaborados quando aos movimentos acelerados de queda, não diferem essencialmente daquele.

Embora esses autores afirmem que, com os trabalhos posteriores de Galileu, a noção de força impressa tenha sido superada, posteriormente ainda encontra-se traços dela em Newton e Kepler, para citar apenas dois. Segundo Koyré (1950, citado em Casadellá e Bibiloni, 1985), Kepler supunha que o Sol, pelo fato dos planetas serem dotados de uma propriedade de resistir a mover-se, irradiava movimento (impetus) na direção do plano da eclíptica.

Na própria Principia de Newton encontra-se também vestígios do impetus. Na redação da segunda lei, por exemplo, Newton (1990) afirma que a mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida (p.15). Na primeira Lei também aparece a expressão força imprimida. Na definição de massa inercial (Definição III) ele usa a expressão força inata da matéria (*vis initia*) e a seguir (Definição IV) ele define o que hoje chamaríamos de “força aplicada” usando a expressão força impressa. Depois ele explica que esta força consiste apenas na ação e não permanece no corpo quando termina a ação.

Segundo Neves (1999),

essas definições que nunca ou quase nunca aparecem nos livros- textos (...) mostram as bases sobre as quais se apóia o edifício newtoniano [e assim] podemos ver que a obra de Newton, que havia feito uma verdadeira e profunda revolução seja de conceitos, seja de visão do sistema de mundo, era, ainda uma transição entre a velha física aristotélica e a não distante física dos nominalistas parisienses e da cinemática galileana (p.49-51).

Continuando o desenvolvimento histórico, poder-se-ia abordar ainda o fato de que as Leis de Newton apresentadas hoje aos estudantes teve sua forma atual desenvolvida, posteriormente à Newton, por outros físicos como Bernoulli, Dálembert e Euler (Neves, 1999). Também poderia ser interessante analisar problemas ainda em debate na mecânica newtoniana como a questão da origem da inércia relacionada à força centrífuga, inicialmente pela obra de Weber e, atualmente, através dos trabalhos de Assis (1998).

Agora pode-se retomar a física aristotélica e apontar aspectos que sugerem a superação da visão simplista com que ela é comumente apresentada. Para Matthews (1994) é inadequado afirmar que os aristotélicos tinham erros conceituais sobre o mundo real; seria mais acertado dizer que tinham erros conceituais sobre o mundo inventado e construído Galileu e Newton, quer dizer, sobre os objetos teóricos da nova ciência, não sobre os objetos materiais que trata.

Toulmin (1982, citado em Neves, 1999) também faz uma análise bastante contextual do pensamento aristotélico. Segundo esse autor, todos os movimentos que observamos ao nosso redor ocorrem, segundo Aristóteles, à causa de um equilíbrio, mais ou menos completo, entre dois conjuntos de forças: aquelas que tendem a conservar o movimento e aquelas que tendem a opor a ele resistência. Sua física não está tão distante da realidade próxima pois (i) ele tenta explicar os movimentos em termos da impossibilidade da resistência nula, (ii) suas proporções qualitativas se aproximam muito das proporções quantitativas estabelecida na Lei de Stokes e (iii) suas análises buscam sempre dois fatores o interno e o externo, da mesma forma como, mais tarde, Newton define força inata e força impressa. Isso mostra que sua física não estava tão distante da nossa realidade, pois interpretada não como lei de natureza rival àquela de Newton, mas como generalizações da experiência cotidiana, muitas das coisas que ele afirmava são verdadeiras (p.45).

A avaliação da física aristotélica deve considerar que sua noção de força, a rigor, só existe dentro da nossa visão atual e, ao mesmo tempo, reconhecer que seu universo estático influenciou toda a física medieval. Para Peduzzi (1996), “sem a física e a cosmologia aristotélica [a história da

mecânica] e tudo que ela representa, não tem sentido e nem mesmo pode ser contada” (p. 61).

Como síntese dessa revisão histórica, vale a pena citar Neves (1999) quando afirma que:

da história do conceito de força e da busca em direção à natureza íntima das causas responsáveis do movimento, podemos entrever um conjunto diverso de construções confusas, concepções e conceitos físicos que, freqüentemente, atribuíam o movimento à intervenção externa (o ar, na física da ‘antiperistasis’), ou a uma propriedade interna (como o impetus de Hiparco, Filopón, Avicena e Buridan) ou, ainda, a um misto de uma propriedade inercial (mais a mudança da velocidade no momento da aplicação da ação no objeto e uma noção de impetus medieval, como se pode ver ainda na física dos Principia. (p. 62)

E Neves (1999) continua sua crítica sobre a visão idealista sobre o passado:

O fato de que a física newtoniana não é aquela, mas de seus seguidores (Bernoulli, Euler etc.), onde o quadro geral dos objetos físicos é tudo uma outra coisa, não é sequer considerada na bibliografia vigente. O meio ideal é a escolha absoluta, ou seja, não existe uma mecânica dissipativa na dinâmica do movimento. Parece que a quintessência aristotélica foi roubada dos aristotélicos e deslocada, pelos newtonianos, para o mundo terrestre, igualando céu e Terra, numa idealidade, esquecendo inexoravelmente o mundo da ‘violência’, da ‘corrupção’ e da ‘dissipação’... (p.62-63).

Enfim, se quisermos tomar como base o desenvolvimento histórico para analisar o desenvolvimento cognitivo, devemos superar as visões simplistas desse desenvolvimento.

O paralelismo com a história e as pesquisas sobre força e movimento

A quase vinte anos, Duschl (1985) havia apontado a necessidade de que a epistemologia também integrasse as dimensões da pesquisa na educação em ciências. Entretanto, no que se refere à pesquisa sobre as concepções dos estudantes sobre força e movimento parece que esta perspectiva ainda não avançou. Na ampla revisão e análise das pesquisas sobre o que os estudantes sabem sobre força desenvolvida por Solano e outros (1997 e 2000) verifica-se que as analogias entre as concepções dos alunos e o desenvolvimento histórico da dinâmica compõem um décimo da amostra total de trabalhos revisados (Galili y Bar, 1992 e Boeha, 1990). Mesmo assim, esses trabalhos, embora sejam posteriores ao trabalho de Duschl, a maioria ainda apresenta os mesmos problemas identificados por esta revisão.

Nesse âmbito da pesquisa, parece ser bastante desconhecido o fato histórico de que entre a física aristotélica e a mecânica newtoniana existiram várias e diferentes propostas para dar conta das relações sobre força e movimento. Na revisão de Solano e outros (1997 e 2000), dos artigos que investigaram o movimento de projéteis pode-se depreender que só três trabalhos explicitam uma concepção histórica intermediária (Viennot, 1979; Thijs, 1992; Kuiper e Mondlane, 1994).

A maioria dos que tratam dessa questão expressam, sobre as relações entre força e movimento, a concepção básica do modelo da força *imprensa* (*impetus*): “movimento implica força” mas sua vinculação com a história da dinâmica não é mencionada pelos revisores (Watts e Zylberstajn, 1981; Watts, 1983; Ruggiero e outros, 1985; Galili e Bar, 1992; Twigger e outros, 1994). Apenas um deles (Boeha, 1990) relaciona as idéias dos alunos com a história da ciência, mas o fazem relacionando as idéias “erradas” dos alunos com a concepção aristotélica.

Enfim, parece que a maioria se limita a verificar se as idéias dos alunos estão coerentes ou não com a concepção científica (newtoniana) sem considerar a história da ciência. Isto caracteriza o principal problema apontado por Solano e outros (1997 e 2000), ou seja, a perspectiva exclusivamente acadêmica com o que conhecimento dos alunos é avaliado.

Uma exceção parecer ser o trabalho de Saltiel e Viennot (1985). Esses autores defendem que as idéias dos alunos encaixam melhor, no paralelismo histórico, com a teoria do *impetus*. Porém essa identificação também não pode ser simplista pois mesmo quando o aluno usa nomes variados, deve-se atentar para as propriedades evocadas, porém sem desconsiderar que a persistência de expressões indiferenciadas indica dificuldades dos estudantes, dificuldades aliás vividas no passado e, de certo modo, vividas também na física atual.

Esse pesquisadores já propunham que deveria-se evitar simplesmente dar um catálogo das idéias intuitivas, mas buscar a estrutura interna dessas concepções e comparar as idéias não com um período particular da ciência mas com alguma tendência permanente manifestada ao longo dos séculos como, por exemplo, a busca permanente das causas do movimento, a diferenciação do movimento relativo do absoluto e, acrescente-se, o entendimento do ‘vazio’ e do ‘nada’ (vácuo).

Assim, mesmo que o paralelismo tenha suas limitações, uma vez que os contextos culturais são diferentes e não todas as características observadas no pensamento espontâneo na atualidade se deu em alguma etapa do desenvolvimento histórico da ciência, a história da ciência, através das resistências que se manifestam ao longo do tempo, nos dá uma boa oportunidade para não subestimar as dificuldades de nossos estudantes. Também indica que certos conceitos e noções não deveriam introduzir-se muito rapidamente. Ainda que limitados, esses pontos poderiam ser razão suficiente para não descuidarmos da história da ciência. (Saltiel e Viennot, 1985).

Solbes e Traver (1996), também defendem essa mesma opinião. Para eles, *ainda que a idéia do paralelismo entre as concepções dos alunos e as concepções vigentes ao longo da história tenha sido questionada, se pode extrair da história informação sobre as dificuldades dos estudantes a partir das resistências, dos obstáculos que se manifestam ao longo da história da ciência* (p.111).

Metodologia e desenvolvimento

Os sujeitos da pesquisa correspondem a 53 futuros professores de Física, Química e Matemática da disciplina de Física II a qual trata da introdução aos conceitos de Mecânica. Tais estudantes tem em média 20 anos e a maioria concluiu seus estudos de nível médio a um ou dois anos. No primeiro dia de aula, cada aluno respondeu um questionário com as perguntas mostradas no quadro abaixo.

Quadro nº 1 – Primeira atividade sobre força e movimento

ATIVIDADE 1 - PARTINDO DAS NOSSAS IDÉIAS SOBRE FORÇA E MOVIMENTO

- 1 - Como característica central do trabalho nessa disciplina, pretende-se sempre partir daquilo que os alunos pensam e/ou já sabem. Assim, fica mais fácil integrar os conteúdos da disciplina com os interesses dos alunos, fica mais fácil compreender possíveis dificuldades dos alunos e, como consequência, fica mais fácil, para o professor e também para o aluno, avaliar o seu efetivo crescimento na disciplina. Assim, responda individualmente às seguintes questões:
- O que você entende quando se diz que um determinado corpo está em movimento?
 - O que é necessário para colocar um corpo em movimento?
 - O que é necessário para manter um corpo em movimento?
 - Uma vez em movimento, os corpos, em geral, tendem a parar ou a continuar em movimento?
 - Como você explica o fato de um bola de futebol chutada continuar a se mover mesmo depois de não haver mais contato com o agente arremessador, no caso o pé do jogador?

Após responder individualmente a estas perguntas, cada aluno discutiu com seus colegas de grupo as idéias apresentadas tentando, se possível chegar a um consenso. Isso deveria ser feito sem

tentar impor uma idéia única ao grupo e também sem eliminar idéias divergentes. Posteriormente as idéias dos grupos foram comparadas no grande grupo, porém sem apresentar-se (por parte do professor) nenhuma indicação direta ou indireta (postura de voz, dizendo que esta ou aquela estaria “certa” ou “errada”, evidência factual, etc.), que pudesse influir na linguagem e no conteúdos das idéias apresentadas.

Fazendo-se uma síntese das respostas dos doze grupos às perguntas do questionário mais diretamente relacionadas à pesquisa, encontrou-se (letra d) que apenas dois grupos defenderam que os corpos, uma vez em movimento, tendem a ficar em movimento e (letra e) que alguma coisa mantém o movimento após o lançamento: “impulso”, “força atribuída”, “força do arremesso”, “força aplicada com tal intensidade”, “força inicial”, “energia” e “força imprimida”. Não fica claro, nestas manifestações, se a ação indicada ocorre somente antes do lançamento ou se continua após isso.

Após essa atividade partiu-se para a leitura do artigo de Peduzzi (1996) que trata da necessidade de consideração da física aristotélica no ensino. Nesse momento, os alunos fizeram uma auto-avaliação do quanto suas idéias estavam ou não de acordo com essa primeira concepção de força e movimento. Após a leitura, cada aluno respondeu a um questionário que visava dirigir a atenção para determinados pontos do artigo, especialmente para a questão polêmica da “antiperistasis”.

Houve um rechaço geral a esta explicação e, com isso, acreditou-se que, nesse momento, havia o ambiente adequado para por em jogo as concepções individuais alternativas. Dessa forma, já estavam razoavelmente presentes algumas condições importantes para o desenvolvimento de um processo genuíno de investigação das idéias dos alunos, quais sejam: (i) um grande interesse pelo tema; (ii) uma certa evolução da linguagem e da capacidade de argumentar e explicitar as próprias idéias; (iii) uma incipiente mas instigante visão relativa do conhecimento em questão (evitava-se transmitir a mensagem implícita de que, ao final, o professor ou os livros dariam a explicação “correta” para o problema em questão; (iv) um ambiente propício para exposição sem medo de qualquer idéia uma vez que, desde o primeiro dia de aula, insistiu-se em deixar claro que a avaliação não mantinha nenhuma relação com a atribuição de nota. Isto é, ao final, independente da concepção sobre força e movimento apresentada, seria atribuída a mesma nota a todos os alunos.

Especialmente em relação a este último aspecto, isto é, a desvinculação entre atribuição de nota e a avaliação conceitual, tem-se encontrado evidências do potencial dessa perspectiva para desenvolver nos alunos (futuros professores) uma postura de responsabilidade pela própria aprendizagem, o que leva a um envolvimento com muito rigor nos processos de auto-avaliação (Harres, 2002). Do ponto de vista investigativo, isso minimiza a possibilidade dos dados coletados em sala de aula estarem influenciadas pela atitude, freqüente no ambiente escolar, de “dar a resposta que o professor quer”.

Assim, a atividade seguinte constituiu o objeto principal de análise dessa pesquisa. Para tanto, foi proposta uma situação na qual os alunos deveriam expressar a explicação aristotélica para o fato de um corpo continuar em movimento durante algum tempo após ser movimentado em uma superfície rugosa (com atrito) e expressar também a própria explicação alternativa a de Aristóteles.

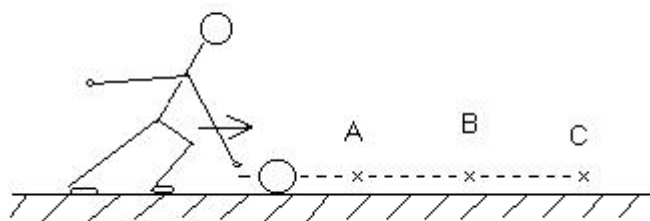
Esta situação foi adaptada de um dos itens do questionário elaborado por Silveira e outros (1992). Naquele trabalho foram apresentadas cinco alternativas e, embora não represente o item com menor índice de acerto do teste, corresponde àquele de maior dispersão das respostas pois apresentou a menor diferença entre a alternativa mais indicada (40%) e a menos indicada (10%) de toda a amostra de 257 estudantes universitários. As demais alternativas (que agregam a outra metade da amostra) contém a indicação de forças a favor do movimento, em uma correspondência clara à teoria do *impetus*. Inclusive poder-se-ia imaginar que uma alternativa análoga à correta, mas com as forças invertidas durante o movimento e sem forças quando a bola pára (ausente no item), seria uma resposta muito atraente mesmo para aqueles que “acertaram”. Por isso optamos, em nosso

questionário, por deixar a resposta livre, sem alternativas a escolher. O Quadro nº 2 detalha a atividade proposta.

Quadro nº 2 – Situação proposta para evolução da noção de força

ATIVIDADE 2 - EVOLUÇÃO DA NOÇÃO DE FORÇA

Tendo analisado as idéias de Aristóteles sobre força e movimento e tendo contrastado estas idéias com as suas, vamos agora tentar avançar na discussão sobre as noções de força e suas implicações sobre os movimentos. Para isso, considere a seguinte situação: uma pessoa lança com grande velocidade uma bola sobre uma superfície horizontal bastante rugosa, isto é, com muito atrito. A figura abaixo ilustra o movimento descrito pela bola. Os pontos A, B e C são pontos da trajetória da bola após o lançamento. No ponto C a bola está finalmente parada.



- Identifique ou desenhe a(s) força(s) que atua(m) sobre a bola em cada uma das três posições segundo a interpretação de Aristóteles.
- Identifique ou desenhe novamente a(s) força(s) segundo a sua interpretação.

Os dados recolhidos foram analisados segundo uma integração entre metodologias qualitativas e quantitativas, tentando-se, como propõe Porlán (1989), superar essa dicotomia e favorecer a emergência de informação tanto sobre o processo como do produto da investigação.

As respostas da letra (a) da atividade acima serviram como parâmetro de quanto os estudantes haviam compreendido a concepção aristotélica, o quê indiretamente poderia indicar sua capacidade de propor alternativas. As respostas mostraram que a grande maioria (80% aproximadamente) explicitou claramente a concepção aristotélica para o caso. Foram encontradas respostas como:

A força do ar se extingue e pára (sujeito 6); força do ar é contrariada pelo ar da frente, parando (sujeito 20); força do ar vai diminuindo (pela resistência do meio) até cessar em C (sujeito 39); força do ar por imperfeição diminui e corpo pára (sujeito 53).

Para três sujeitos a explicação não foi considerada integralmente coerente com a visão aristotélica. Já expressando, em alguma medida a “concepção intermediária”, encontrou-se:

A força acaba e [a bola] pára ao chegar no seu lugar natural (sujeito 9); força inicial diminui e pára (sujeito 29); corpo pára no momento que a força intensa cessa (sujeito 21); velocidade diminui até se igualar a resistência quando então pára (sujeito 45).

Como mostra-se mais adiante, a grande maioria desses sujeitos já expressavam, em alguma medida, a *concepção intermediária*. As respostas da letra (b) são relatadas a seguir. Agora, pediu-se que o aluno expressasse (por escrito, desenho ou ambos) as forças que atuam na bola segundo a própria interpretação. Cabe assinalar que o termo força aqui está tomado em sentido amplo, isto é,

tanto pode referir-se ao sentido mais moderno de força, como referir-se à “velocidade”, “movimento”, “impulso” ou “energia”, uma vez que as explicações iniciais não diferenciavam esses termos. Posteriormente, os significados agregados a essa palavra é que permitiram uma diferenciação maior.

Como resultado geral mais importante, confirmando em boa medida a hipótese inicial, verificou-se que somente três alunos expressaram concepções não intermediárias. Um deles apresentou uma explicação genuinamente aristotélica, *devido à gravidade [o corpo] vai perdendo sua intensidade* (sujeito 23) e os outros dois expressaram uma concepção claramente newtoniana, *corpo pára apenas devido ao atrito* (sujeito 24) e *o corpo pára devido ao atrito* (sujeito 53).

Coerentes com a perspectiva epistemológica evolutiva (Toulmin, 1977) e com uma concepção de aprendizagem construtivista (Porlán, 1992), as *concepções intermediárias* foram categorizadas segundo uma escala que tenta integrar, como hipótese a ser contrastada com os dados, o desenvolvimento histórico da dinâmica a uma possível evolução cognitiva dos estudantes.

O quadro a seguir apresenta a escala evolutiva construída contendo onze diferentes significados das *concepções intermediárias* (níveis) distribuídas ao longo de cinco grande categorias, sendo três intermediárias dispostas após a concepção aristotélica (Nível 1) e a newtoniana (Nível 13). Apresenta-se ainda a correspondente frequência de sujeitos em cada uma delas.

Quadro nº 3 – Categorias, níveis e frequência de sujeitos após análise da Atividade 2

Categoria	Nível	Indicador	Frequência
Aristotélica	1	O corpo pára porque o repouso é o lugar natural	1
Impetus Inicial	2	A força impressa faz andar um pouco	3
	3	A força impressa diminui	8
	4	A força impressa, a favor, diminui	3
Impetus Médio	5	O atrito aumenta e se iguala à força impressa	1
	6	O atrito aumenta e supera a força impressa	2
	7	O atrito faz diminuir a força impressa	6
	8	A força impressa diminui devido ao atrito, até igualara-se a ele	4
	9	O atrito é maior que a força impressa	9
Impetus Avançado	10	O atrito è contrário à força impressa fazendo parar	6
Avançado	11	Força a favor e contra deixam de atuar	4
	12	Força impressa atuou e atrito faz parar	4
Newtoniana	13	Apenas a força de atrito atua, fazendo parar	2

Na continuação, explicitamos a perspectiva teórica que estrutura essa escala, apresentando, ao mesmo tempo, exemplo das explicações dos estudantes já depuradas por uma análise do conteúdo (Moraes, 1997). Para a identificação de um sujeito com qualquer dos onze níveis intermediários (níveis 2 a 13), tomou-se como aspecto central o fato do aluno expressar uma força a favor do movimento atuando sobre o corpo independente de quem (ou o que) seja o agente dessa força.

Nos níveis iniciais da escala (2,3,4), cuja categoria denominamos **impetus inicial**, o estudante refere-se apenas a fatores internos ao corpo na explicação de sua parada. A diferenciação dentro da categoria obedece à agregação de mais elementos, complexificando a explicação em direção ao nível desejável. Assim, nessa categoria foram encontradas respostas como:

O corpo recebe uma força do impulso (armazenada) que faz andar um certo tempo (sujeito 35, Nível 2); *a força aplicada vai diminuindo até parar*” (sujeito 36, Nível 3); *a força para a frente diminui até parar*” (sujeito 12, Nível 4).

Na categoria seguinte, **impetus médio**, aparece uma evolução importante pela inclusão do atrito nas explicações. Admite-se que o atrito entre a superfície e a bola exerce algum papel sobre o fato de que o corpo acabe parando, mas essa consideração ainda é bastante inadequada por considerá-lo variável ou exercendo algum efeito sobre a força de impulso, caracterizando explicações dos níveis 5, 6, 7, 8 e 9. Exemplos desses níveis são:

A força do atrito aumenta e se iguala à força a favor parando” (sujeito 47, Nível 5); a força de atrito ficou maior que a velocidade (sujeito 8, Nível 6); a força recebida se gasta devido ao atrito (sujeito 9, Nível 7) a resistência é maior que a energia do corpo fazendo-o parar (sujeito 19, Nível 8); a força a favor diminui, tem atrito, em C não há forças (sujeito 33, Nível 9).

Nos níveis seguintes, integrando a categoria **impetus avançado**, encontra-se aqueles sujeitos que outorgam um papel cada vez maior ao atrito como causa da extinção do movimento. O modo como a força impressa é situada nesse contexto e a utilização implícita de elementos da mecânica newtoniana cada vez mais evidentes é o que permite a diferenciação nos níveis 10, 11 e 12 dentro da categoria. Não é feita menção de variação, por influência mútua, entre o atrito e a força impressa.

O Nível 10 inclui aquelas explicações que não relacionam diretamente atrito e força impressa. No nível 11 tem-se quase a mesma situação, porém inclui-se agora uma certa compreensão de que no ponto C a resultantes das forças deve ser nula. E no Nível 12, último dentro do grande grupo de explicações intermediárias, o sujeito fala em força apenas no início do movimento, isto é, quando a bola estava ainda na mão do lançador. Depois disso, o atrito atua e o corpo pára. A inadequação estaria apenas no fato de que parece ser imperativo mencionar tal força. Nesta categoria tem-se, por exemplo:

A força de atrito é contrária ao impulso fazendo parar (sujeito 3, Nível 10); a força a favor e contra deixam de existir em C, onde há apenas gravidade (sujeito 32, Nível 11); foi aplicada uma força e devido ao atrito o corpo parou” (sujeito 30, Nível 12).

A modo de conclusão da análise dos dados, podemos dizer que a categorização das respostas dos estudantes foi feita utilizando-se três perguntas

- (i) Atua uma força “impressa” sobre o corpo após o lançamento?
- (ii) O atrito é considerado no problema?
- (iii) O atrito exerce alguma influência sobre a força “impressa”?

Para a categoria **impetus inicial** as repostas seriam: sim, não e não. Para a categoria **impetus médio** as repostas seriam todas sim. Finalmente, para a categoria **impetus avançado** elas seriam sim, sim e não.

Implicações para o ensino

De modo geral, os resultados apresentados dão suporte à hipótese de que as explicações dos estudantes para o caso de um corpo que se movimenta após ser lançado são muito semelhantes àquelas sintetizadas pela “física da força impressa” (Pедуzzi e Zylberstajn, 1997). Tais explicações, agrupadas em categorias, uma vez que constituem um conjunto consistente de relações entre idéias e fatos (Solano e outros, 2000), foram denominadas de “concepções intermediárias” e escalonadas segundo apresentassem mais elementos em direção à concepção newtoniana sobre força e movimento. Inclusive um dos alunos da disciplina, que já dá aula, não conseguiu identificar, após uma série de discussões que se seguiram às atividades aqui descritas, que a explicação medieval fosse inferior à leis de Newton, mesmo após tê-las ensinado na escola onde leciona.

É preciso salientar ainda que outros fatores sobre a física da força impressa que aqui não foram investigados merecem também atenção como, por exemplo, as situações em que entra em jogo a força da gravidade, o *impetus* circular e a questão da relatividade dos movimentos.

De qualquer modo, a estratégia de estabelecer, a partir da evolução histórica da dinâmica, uma escala das concepções sobre força e movimento, mostrou-se frutífera quanto à capacidade de caracterizar o estágio de evolução do conhecimento dos estudantes (futuros professores). A postura epistemológica não absolutista também se mostrou eficiente para ampliar a visão sobre o problema da aprendizagem dos conceitos científicos. Além dessa estratégia pode ser útil para superar as dificuldades de trabalhos de caráter evolutivo, desenvolvidos a longo prazo, como propõem Solano e outros (1997).

Esse resultado é relevante, pois é necessário superar essas posturas não só no âmbito da investigação do conhecimento dos estudantes mas também na estruturação das atividades de ensino. Isso talvez ajude minimizar o permanente fracasso registrado pelas pesquisas no aprendizado sobre força e movimento (Axt, 1984; Silveira e outros, 1992; Thorton e Sokoloff, 1998; Neves e Savi, 1999; Moraes e Moraes, 2000). No caso da pesquisa de Neves e Savi (1999) chama a atenção o fato de que mesmo bacharéis em física, fazendo mestrado na área, apresentem significativas dificuldades com o tema. Parece que Villani e Polido (1997), após analisar uma situação de inovação no ensino desses conceitos levando em consideração as idéias dos alunos, tinham razão ao defender que as relações, na visão newtoniana, entre força e movimento não estão ao alcance dos estudantes do Ensino Médio.

O problema é mais grave ainda no âmbito da formação de professores pois, como seria de esperar, temos identificado que os futuros professores iniciam sua formação no mesmo estágio de evolução que seus futuros alunos (Harres, 2001). A estruturação de uma proposta realmente alternativa a essa situação, objetivo mais amplo no qual essa pesquisa se insere, deverá, portanto, abordar a questão do nível de formulação dos conteúdos (García, 1998), a questão de uma avaliação realmente processual e formativa (Harres, 2002) e, ainda, associar ambas idéias a uma nova concepção de erro no contexto escolar e universitário (Astolfi, 1999).

Referências

- ASSIS, A.K.T. (1998). *Mecânica relacional*. Campinas: Editora da Unicamp.
- ASTOLFI, J. (1999). *El error como un medio para enseñar*. Sevilla: Díada.
- AXT, R. (1984). Conceitos intuitivos em questões objetivas aplicadas no concurso vestibular unificado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. *Ciência e Cultura*, 38(3): 444-452.
- BOEHA, B.B. (1990). Aristotele, alive and well in Papua New Guinea science classrooms. *Physics Education*, 25:280-283.
- CASARELLÁ, J.R. e BIBILONI, L.M. (1985). La construcción histórica del concepto de fuerza centrípeta en relación con las dificultades de su aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(2):217-224.
- CAREY, S. (1986). Cognitive psychology and science education. *American Psychologist*, 41:1123-1130.
- DUSCHL, R.A. (1985). Science education and philosophy of science, twenty years of mutually exclusive development. *School, Science and Mathematics*, 87(7):541-555.
- GALILI, I. e BAR, V. (1992). Motion implies force: where to expect vestiges of the misconception? *International Journal of Science Education*, 14(1): 63-81.
- GARCÍA, J.E. (1998). *Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares*. Sevilla: Díada.

- GARDELLI, D. (1999) A origem da inércia. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 16(1):43-53.
- GRANT, E. (1971). *Physical science in the middle ages*. Nova York: John Wiley & Sons.
- HARRES, J.B.S. (1999). Concepções de professores sobre a natureza da ciência. Porto Alegre: PUCRS. Tese de doutorado não publicada.
- HARRES, J.B.S. (2001). Evolução do conhecimento prévio como estratégia para o desnevolvimento profissional. O caso das concepções sobre força e movimento futuros professores para o ensino médio (14 a 17 anos). Alicante: Atas da II Reunión No-virtual de la Red IRES, Espanha.
- HARRES, J.B.S. (2002). *Avaliação não classificatória, auto-avaliação e desenvolvimento profissional. Análise de um caso na compreensão das relações entre força e movimento*. Santa Fé: III Encuentro Nacional de Docentes que Hacen Investigación Educativa, Argentina.
- HASHWEH, M.Z. (1986). Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3):229-249.
- KUHN, T. (1987). A estrutura das revoluções científicas. São Paulo: Perspectiva.
- KOYRÉ, A. (1943). Galileo and Plato. *Journal of the History of Ideas*, 4:400-428 (Reproduzido em *Methaphysics and Measurement*, 1968).
- KOYRÉ, A. (1950). *La gravitación universal de Kepler a Newton*. Atas do Congresso Internacional de História da Ciência, Amsterdam, vol. 1, p.196.
- KUIPER, J. e MONDLANE, E. (1994). Student ideas of science concepts: alternative frameworks? *International Journal of Science Education*, 16(3):279-292.
- MATTHEWS, M. R. (1994). História, filosofia y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las ciencias*, 12(2):255-277.
- MORAES, R. (1997). Análise de conteúdo. *Revista de Educação da PUCRS*, 37:3-32.
- MORAES, A.M. e MORAES, I.J. (2000). A avaliação conceitual de força e movimento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22(2):1-15.
- MOREIRA, M.A. (1994). Diez años de la revista Enseñaza de las Ciencias: de una ilusión a una realidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2):147-153.
- NEVES, M.C.D. (1999). *Memórias do invisível. Uma reflexão sobre a história no ensino de física e a ética da ciência*. Maringá: L.C.V.
- NEVES, M.C.D. E SAVI, A.A. (1999). *A sobrevivência do alternativo: uma pequena digressão sobre mudanças conceituais que não ocorrem no ensino de física*. Campinas: Atas do II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Brasil.
- NEWTON, I. (1990). *Principia – Princípios Matemáticos de filosofia Natural*. São Paulo: Nova Stella/EDUSP, vol. 1. (Tradução de Ricci, T; Brunet, L.G.; Gehring, S.T. e Célia, M.H.C.).
- PEDUZZI, L. (1996). A física aristotélica: por que não considerá-la no ensino da mecânica? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 13(1):48-63.
- PEDUZZI, L e ZYLBERSTAJN, A. (1997). La Física de la fuerza impresa y sus implicaciones para la enseñanza de la mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3): 351-359.
- PORLÁN, R. (1989). *Teoría del conocimiento, teoría de la enseñanza y desarrollo profesional: las concepciones epistemológicas de los profesores*. Sevilla: Unversidade de Sevilla. Tese de Doutorado não publicada.
- PORLÁN, R. (1992). *Constructivismo y escuela*. Sevilla: Díada.
- PORLÁN, R. e HARRES, J.B.S. La epistemología evolucionista de Stephen Toulmin y la enseñanza de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 39:17-26, 1999.

- PORLÁN, R. e RIVERO, A. (1998). El concocimniento de los profesores. El caso del área de ciencias. Sevilla: Díada.
- RUGGIERO, S.; CARTELLI, A.; DUPRE, F.; VICENTINI MISSONI, M. (1985). Weight, gravity and air pressure: mental representations by Italian middle school pupils. *European Journal of Science Education*, 17(2):181-194.
- SALTIEL, E. e VIENNOT, L. (1985). Que aprendemos de las semejanzas entre las ideas historicas y el razonamiento espontaneo de los estudiantes? *Enseñanza de las ciencias*, 3(2):137-144
- SILVEIRA, L.F.; MOREIRA, M.A.; AXT, R. (1992). Estrutura interna de testes de conhecimento em física: um exemplo de mecânica. *Enseñanza de las ciencias*, 10(2):187-194.
- SOLANO, I.; JIMÉNEZ-GÓMEZ, E.; MARÍN, N. (1997). Estudio de la progresión en la delimitación de las "ideas" del alumno sobre fuerza. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3):309-328.
- SOLANO, I.; JIMÉNEZ-GÓMEZ, E.; MARÍN, N. (2000). Análisis de la metodología utilizada en la búsqueda de "lo que el alumno sabe" sobre fuerza. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2):171-188.
- SOLBES, J. e TRAVER, M. J. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1):103-112.
- SOTO, C.A. e SANJOSÉ, V. El cambio conceptual como programa de investigación en la didactica de las ciencias. Atas do XIX Encontro sobre Didactica de las Ciencias. Madrid, p. 397-408.
- THIJS, G. D. (1992). Evaluation of an introductory course on "force" considering students' preconceptions. *Science Education*, 76(2):15-174.
- THORTON, R.K. e SOKOLOFF, D.R. (1998). Assessing student learning of Newton's laws: the force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *American Journal of Physics*, 66(4).
- TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana. Vol. 1: El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza Editorial.
- TOULMIN, S. (1982). *Previsione e conoscenze*. Roma: Armando.
- TWIGGER, D.; BYARD, R.; DRAPER, S. (1994). The conception of force and motion of students aged between 10 and 15 years: an interview study designed to guide instruction. *International Journal of Science Education*, 16(2):215-229.
- VIENNOT, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2): 205-221.
- VILLANI, A. (1992). Conceptual change in science and science education. *Science Education*, 76(2):223-237.
- VILLANI, A. e POLIDO FERREIRA, M. (1997). As dificuldades de uma professora inovadora. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 14(2):115-145.
- WATTS, D. M. (1983). A study of schoolchildren's alternative frameworks of the concept of force. *European Journal of Science Education*, 5(2): 217-230.
- WATTS, D. M. e ZYLBERSZTAJN, A. (1981). A survey of some children's ideas about force. *Physics Education*, 16(6):360-365.