

MATERIAIS E MÉTODOS

CONCEPÇÕES ESPONTÂNEAS EM FÍSICA: EXEMPLOS EM DINÂMICA E IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO

ARDEN ZYLBERSZTAJN

Departamento de Educação - UFRN

- Professor: ...e a pedra foi lançada verticalmente para cima, ...quais são as forças que agem sobre ela durante o movimento?
- Aluno: Tem uma força pra cima.
- Professor: Pra cima?
- Aluno: É.
- Professor: Bom... eu estava pensando quando a pedra já abandonou a mão da pessoa.
- Aluno: Sim... é pra cima porque a pedra está indo pra cima... aí quando ela cai a gravidade puxa ela pra baixo.

O diálogo acima é imaginário. Acredito contudo que diálogos semelhantes ocorram comumente em aulas de Física. Professores perceptivos devem certamente ter notado que alunos de 2º grau, e mesmo estudantes universitários, tendem a associar uma força com a velocidade de um objeto e não com a sua aceleração. Não faltam também aqueles que, como sugere a última frase do diálogo, pensam que a gravidade terrestre age apenas sobre corpos em queda.

Situações como a descrita no diálogo imaginário evidenciam o fato de que crianças e adolescentes desenvolvem espontaneamente, e trazem para as salas de aula, concepções a respeito de fenômenos físicos⁽¹⁾. Pesquisas têm demonstrado que estas concepções, na forma de expectativas, crenças, princípios intuitivos, e significados atribuídos a palavras cobrem uma vasta gama dos conceitos que fazem parte dos currículos de disciplinas científicas⁽²⁾. É igualmente verdadeiro que, para muitos, algumas destas noções são fortemente incorporadas à sua estrutura cognitiva, tornando-se resistentes à instrução.

Tradicionalmente professores e pesquisadores devotaram pouca atenção à existência de tais noções, considerando-as pura e simplesmente como erros que seriam facilmente corrigíveis. Em decorrência, problemas relativos ao ensino de Física têm sido mais comumente ligados ao uso de técnicas matemáticas e menos às dificuldades de nível conceitual⁽³⁾.

Apenas mais recentemente pesquisadores em Ensino de Ciências parecem ter se dado conta das implicações educacionais decorrentes do fato de que alunos constroem concepções a respeito da realidade que os cercam. Concepções estas que lhes proporcionam uma compreensão pessoal desta realidade, influenciando na maneira pela qual estes alunos aprendem (ou deixam de aprender) os conceitos que lhes são ensinados.

Atualmente encontra-se em pleno desenvolvimento uma área de pesquisas em Ensino de Ciências que tem como foco a investigação destas concepções. É interessante notar que tal preocupação tem-se refletido inclusive no nível semântico. Em estudos mais antigos noções apresentadas por alunos que diferissem daqueles oficialmente incorporadas aos textos didáticos e currículos escolares eram denominadas por autores de língua inglesa, por exemplo, por palavras tais como "misconceptions" ou "misunderstandings"⁽⁴⁾. Hoje, nota-se uma tendência entre pesquisadores em usar expressões com uma conotação negativa menos acentuada: "alternative frameworks"⁽⁵⁾, "alternative conceptions"⁽⁶⁾, "children's science"⁽⁷⁾, "raisonnement naturel"^(8,9), "conceitos espontâneos"⁽¹⁰⁾.

O objetivo deste artigo é apresentar alguns exemplos de concepções espontâneas bem como tecer considerações a respeito de implicações para o ensino. Visando manter uma unidade temática na apresentação, optei por focalizar apenas noções relacionadas com conceitos normalmente tratados em dinâmica⁽¹¹⁾.

ALGUNS EXEMPLOS DE CONCEPÇÕES ESPONTÂNEAS

A seleção apresentada a seguir não constitui uma cobertura extensiva ou sistemática de resultados de pesquisas realizadas na área. A intenção é exemplificar de forma concreta certas noções identificadas em estudos realizados entre escolares e estudantes universitários, e para as quais penso ser válido chamar a atenção, já que é possível que as mesmas ocorram mais frequentemente na sala de aula⁽¹²⁾. Deve-se salientar que, provavelmente, as concepções selecionadas não são as únicas relativas a cada um dos tópicos considerados. Em uma sala de aula com mais de 40 alunos é possível que a diversidade de idéias idiossincráticas a respeito de certos fenômenos físicos seja maior do que a sugerida pelos exemplos abaixo.

Força e Movimento. A ocorrência de noções espontâneas relativas a este tópico foi objeto de diversos trabalhos, existindo evidências convincentes de que escolares, e mesmo universitários com formação básica em Física, tendem a relacionar força e velocidade de um corpo.

Em um destes estudos⁽¹³⁾, envolvendo 125 alunos de escolas inglesas (idade 14 anos), foi empregado um questionário escrito no qual, além de responderem a ítems de múltipla escolha cujas opções eram figuras, os alunos tinham de explicar a razão de suas escolhas. Seis dos doze ítems que formavam o questionário, exploravam a associação entre força e movimento, sendo que os três primeiros indagavam sobre uma pedra lançada verticalmente, e os outros três referiam-se ao movimento de uma bala de canhão. A análise das respostas indicou que cerca de 85% dos alunos associavam de forma consistente força e movimento. Para eles uma força dirigida para cima agia sobre a pedra quando a mesma movia-se neste sentido; quanto à bala de canhão, haveria uma força agindo segundo a tangente à trajetória, e no sentido do movimento. Alguns exemplos de explicações típicas (relativas à questão da pedra) são transcritas abaixo:

"Porque ela está se movendo para cima, portanto a força deve estar fazendo ela ir para cima."

"Porque ela está se movendo nesta direção."

"Porque ela precisa de força para lutar contra a gravidade."

"Mostra a melhor resposta porque a força da pedra está puxando para cima contra a força de gravidade."

Outros estudos sugerem que concepções semelhantes ocorrem também entre estudantes mais velhos aos quais, diferentemente dos escolares da pesquisa acima mencionada, passaram por experiências de ensino que tiveram como conteúdo as leis de Newton. A aplicação do questionário desenvolvido na pesquisa mencionada na Ref. (13), a universitários portugueses e quenianos de cursos equivalentes à nossa licenciatura, revelou resultados semelhantes aos do estudo original⁽¹⁴⁾. Um trabalho realizado com um grupo de 34 calouros de engenharia americanos⁽¹⁵⁾, mostrou que aproximadamente 80% dos mesmos desenharam uma força para cima quando analisando o movimento de uma moeda lançada para o alto. Muitas das explicações apresentadas por estes estudantes, quando entrevistados, foram qualitativamente semelhantes às aquelas apresentadas pelos escolares ingleses ao resolverem o problema equivalente do movimento da pedra⁽¹³⁾. Em um estudo mais antigo⁽¹⁶⁾, mais de 300 universitários ingleses (de ciências e engenharia) foram solicitados a representar graficamente as forças atuando sobre um veículo em movimento circular uniforme. Menos de um terço dos mesmos representou a resultante como dirigida para o centro da curva, e aproximadamente a metade representou a resultante segundo a tangente à curva, demonstrando uma associação intuitiva entre força

e direção do movimento a despeito de anos de instrução formal em Física.

Em uma pesquisa mais aprofundada⁽¹⁷⁾, na qual tomaram parte centenas de estudantes franceses, belgas e ingleses (cursando do último ano da escola secundária ao terceiro ano da universidade), verificou-se que uma proporção considerável dos mesmos usava uma relação linear intuitiva entre força e velocidade quando analisando o movimento de corpos. A autora do trabalho sugere que esta relação intuitiva pode ser expressa como $F = \alpha V$, levando às conclusões de que:

Se $V = 0 \rightarrow F = 0$ mesmo se a (aceleração) $\neq 0$

Se $V \neq 0 \rightarrow F \neq 0$ mesmo se $a = 0$

Se $V_1 \neq V_2 \rightarrow F_1 \neq F_2$ mesmo se $a_1 = a_2$.

É interessante notar que este tipo de raciocínio emergia mais frequentemente em situações nas quais a intuição física era requerida, como por exemplo quando os estudantes eram solicitados a comparar, qualitativamente, a intensidade das forças que agiam sobre corpos presos a uma mola, ao passarem pela mesma posição, mas com velocidades diferentes. Por outro lado, os estudantes tendiam a aplicar corretamente a 2ª lei de Newton quando confrontados com uma equação de movimento a partir da qual deveriam calcular matematicamente a força.

Parte da pesquisa de Viennot foi reproduzida por um grupo de pesquisadores em ensino do IFUSP, com estudantes secundários e universitários de São Paulo. Em primeira aproximação os resultados obtidos foram semelhantes aos dos estudantes europeus. Uma análise mais refinada, contudo, revelou que a relação espontânea entre a força e a velocidade parece ser mediada por dificuldades com o conceito de aceleração⁽¹⁰⁾.

Os estudos descritos acima sugerem que a associação entre força e velocidade não é prevalente apenas entre jovens escolares, mas que também persiste, para muitos, apesar de anos de exposição ao ensino formal de Física. Vale a pena observar que, ao menos quando o movimento de projéteis é considerado (tanto vertical quanto composto), as concepções espontâneas detectadas são bastante parecidas com aquelas que foram parte de teorias mais tarde superadas pelo processo de desenvolvimento científico⁽¹⁸⁾.

Ação e Reação. No estudo mencionado na Ref. (13) os alunos foram também questionados sobre as forças aplicadas a uma corda durante um cabo-de-guerra disputado por duas pessoas. Observou-se que

na situação em que uma das pessoas estava vencendo, mais de 80% dos alunos supunha que esta pessoa exercia uma força maior na corda. A noção de que, quando um sistema composto por dois corpos em interação está em movimento, a "ação" é maior do que a "reação" foi também observada por Viennot entre estudantes mais velhos e com maior experiência em Física⁽¹⁷⁾. Tais resultados sugerem que muitos alunos aplicam espontaneamente um pseudo princípio de ação e reação que poderia ser parafraseado como:

"Se dois corpos estão interagindo para gerar um estado de movimento, então um deles deve estar exercendo uma força maior sobre o outro."

Um "princípio" como este é mais intuitivo do que a 3ª lei de Newton e pode-se especular que a sua observância explicaria a dificuldade que muitos alunos sentem ao resolverem problemas que envolvem uma configuração semelhante à da Figura 1. Como o sistema está em movimento, torna-se difícil para estes alunos imaginar $F_1 = F_2$, já que para eles, intuitivamente F_2 deve ser maior do que F_1 .

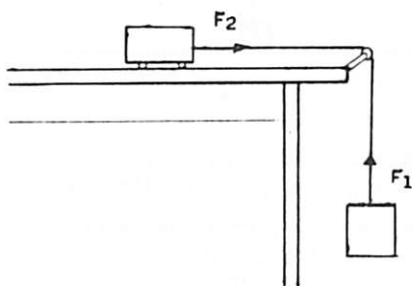


Fig. 1

Gravidade. Concepções espontâneas foram também identificadas em relação ao conceito de gravidade. Observou-se, por exemplo, que jovens adolescentes tendem a associar a força de gravidade com a existência de atmosfera, como se o ar fosse, de certa maneira, o meio transmissor da força atrativa^(13,19,20). Desta forma, é imaginado que objetos flutuam no espaço devido à não existência de atmosfera. Aqui podemos estar frente a um exemplo de como pessoas se valem de uma noção intuitiva (um meio é necessário para a transmissão de uma força) a fim de interpretar uma situação que está fora do seu domínio de experiência mais próximo (a informação, geralmente su

gerida pelos meios de comunicação, de que "astronautas não têm peso no espaço" (21).

Observou-se igualmente que para muitos adolescentes a força de gravidade parece aumentar com a altura. Assim, por exemplo, a metade dos alunos que participaram na pesquisa tratada na Ref. (13) respondeu que uma força maior atua sobre um carro posicionado no alto de uma ladeira do que sobre um carro semelhante situado mais abaixo (22). Na mesma pesquisa perto de 80% dos alunos responderam que, no caso do arranjo mostrado na Figura 2, os corpos supostamente de massas iguais se moveriam até que atingissem o mesmo nível.

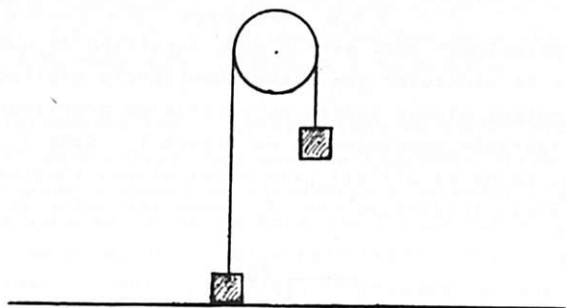


Fig. 2

A noção de que a força de gravidade aumenta com a altura é também mencionada em outros trabalhos (19,23). Pode-se especular que esteja presente nesta noção, em estado embrionário, uma idéia intuitiva de energia potencial gravitacional, todavia indiferenciada do conceito de força.

Um outro aspecto interessante relacionado com o conceito de força de gravidade que foi notado no estudo descrito na Ref. (13) foi a diversidade das idéias sobre o papel desempenhado por esta força. A análise das explicações dadas pelos alunos no caso da pedra lançada verticalmente mostrou que para alguns a gravidade age durante todo o movimento; outros, entretanto, parecem imaginar que a força de gravidade age somente durante a queda. Para alguns poucos ainda, a palavra gravidade parece ser simplesmente um nome associado à queda de corpos, não implicando necessariamente na existência de uma força (24).

IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO

A crescente quantidade de estudos demonstrando a ocorrência de concepções espontâneas relativas a vários tópicos⁽²⁾, permite a pesquisadores na área afirmarem que:

"Na realidade há um confronto entre a Física ensinada (oficial) e a espontânea e sem dúvida o objetivo do ensino é a aprendizagem da oficial; este confronto muitas vezes se realiza de forma pouco harmoniosa e seu resultado não é uma visão conceitual coerente e rica, mas a superposição e justaposição de conceitos de diferentes origens e alcance, que prejudicam qualquer pretensão de aprofundamento teórico do aluno."⁽¹⁰⁾

Aceitando-se este ponto de vista, coloca-se então a questão prática sobre que implicações para o ensino poderiam daí se derivar. Considerando que sugestões de ordem geral⁽²⁵⁾ (com o espírito das quais concordo) já foram apresentadas no artigo do qual a citação acima foi extraída, o mesmo será tomado como ponto de partida para que algumas idéias que me parecem relevantes no contexto em questão sejam colocadas.

A conclusão fundamental com relação ao ensino é que:

"... não é produtivo ignorar a bagagem cultural do aluno e todo o conjunto de noções "espontâneas" que ele carrega ao se deparar com o ensino formal na escola. Se não se cuidar adequadamente da "física espontânea" dos alunos sobrarão duas estruturas superpostas, entre as quais os alunos escolherão uma dependendo do contexto; em geral quando o problema envolver muitos elementos formais usarão a aprendizagem formal; quando o problema envolver elementos do dia-a-dia e com características bem figurativas ou capazes de estimular a percepção, usarão o esquema espontâneo."⁽¹⁰⁾

É sugerido então a professores:

"Atentar durante o curso para o aparecimento de noções espontâneas diferentes das formais que são ensinadas. Explorá-las e analisá-las para que não constituam estruturas de conhecimento superpostas."⁽¹⁰⁾

Quanto à forma através da qual estas noções poderiam ser exploradas é ressaltado que:

"... as idéias espontâneas em geral têm capacidade explicativa limitada, e por isso elas podem ser questionadas diretamente e fa-

cilmente, levando até às últimas consequências suas previsões em Física. Retomando o exemplo da relação força-velocidade não é difícil mostrar como a relação força máxima-velocidade máxima é insustentável quando se elimina progressivamente a resistência do ar ou de meios dissipativos."⁽¹⁰⁾

A maioria dos pesquisadores na área parece estar de acordo quanto à validade de se estabelecer alguma forma de conflito entre predições dos alunos e resultados experimentais. É preciso contudo apontar que a simples apresentação de contra-exemplos (sejam eles experimentais ou teóricos), que ofereçam pontos de ruptura com os limites explicativos das noções espontâneas, pode ser de pouca efetividade no que tange à superação destas noções por parte do aluno. Professores e livros-textos vêm, de há muito, iniciando o estudo das leis de Newton mencionando que Galileu chegou ao princípio da inércia através da (des)consideração dos efeitos das forças de atrito⁽²⁶⁾. "Pucks", trilhos e mesas de ar são parte do dia-a-dia dos laboratórios de escolas médias e universidades na Europa e nos EUA e mesmo assim as noções espontâneas resistem. Como bem observou Driver:

"... alunos, do mesmo modo que cientistas, trazem para as aulas de ciências algumas idéias ou crenças já formuladas. Estas crenças afetam as observações que eles fazem bem como as inferências daí derivadas. Alunos, do mesmo modo que cientistas, constroem uma visão do mundo que os capacita a lidar com situações. Transformar esta visão não é tão simples quanto fornecer aos alunos experiências adicionais ou dados sensoriais. Envolve também ajudá-los a reconstruir as suas teorias ou crenças, a experimentar, por assim dizer, as evoluções paradigmáticas que ocorreram na história da ciência."⁽²⁷⁾

A nível de sala de aula, tão importante quanto a apresentação de contra-exemplos, seria todo um trabalho inicial direcionado no sentido de induzir os alunos a refletirem sobre as suas próprias concepções. Esta reflexão é necessária, já que, para a maioria dos alunos, as noções espontâneas (justamente por serem espontâneas) não se encontram em um nível consciente totalmente explícito.

Uma sequência de atividades em sala de aula levando em conta as considerações acima poderia incluir⁽²⁷⁾:

1. Criar uma situação que induza os alunos a invocarem suas concepções a fim de interpretá-la.
2. Encorajar os alunos a descreverem verbalmente e através de figuras as suas idéias.

3. Ajudar os alunos a enunciarem de modo claro e conciso as suas idéias.
4. Encorajar o debate sobre os prós e contras de diferentes interpretações dos alunos.
5. Criar um conflito cognitivo entre as concepções apresentadas a algum fenômeno que não possa ser explicado pelas mesmas.
6. Apoiar a busca de uma solução e encorajar sinais de uma acomodação de idéias. Encorajar a elaboração da nova concepção quando esta for proposta.

Seria extremamente otimista esperar que, em geral, os alunos cheguem, por si mesmos, às concepções curriculares aceitas oficialmente. Estas, em boa parte dos casos, deverão ser introduzidas pelos professores, os quais terão que sugerir aos seus alunos que suas noções, ainda que sensatas e úteis sob um ponto de vista pessoal, podem ser substituídas por outras mais poderosas.

O fato de que as novas concepções serão introduzidas pelos professores não invalida a sequência de atividades sugerida acima, visto que o trabalho desenvolvido pelo alunos nas fases 1 a 5 pode ser instrumental no que diz respeito à aprendizagem dos novos conceitos. As atividades podem também se constituir em um bom exercício no sentido da estimulação da criatividade e do debate na sala de aula. Desde que as idéias apresentadas pelos alunos sejam tratadas de forma respeitosa pelos professores⁽²⁸⁾, as atividades podem ainda tornar os alunos mais confiantes quanto ao uso da linguagem e quanto à sua capacidade como elaboradores de conhecimento.

A Linguagem na Sala de Aula. Enfoques do tipo sugerido apresentam claras implicações no que diz respeito à maneira segundo a qual a linguagem é utilizada em sala de aula, visto que plenas oportunidades devem ser oferecidas aos alunos para que os mesmos, através do uso da linguagem, dominem e reestruturem as suas concepções. Aulas de Física convencionais, nas quais o professor exerce o monopólio da fala, oferecem pouca chance neste sentido.

Neste contexto talvez seja útil considerar a distinção entre "professores de transmissão" e "professores de interpretação"⁽²⁹⁾. "Professores de transmissão" tendem a considerar a linguagem primeiramente um meio para comunicar idéias (geralmente as suas). Tendão portanto a conceber o discurso de sala de aula como um modo de transmitir suas concepções para os alunos, não percebendo que, por vezes, podem estar tentando impor uma estrutura sobre outra já existente.

"Professores de interpretação", tendem a considerar a linguagem não apenas como um instrumento através do qual o sentido é comu-

nicado, mas também como um instrumento através do qual pensamos, e por meio do qual o sentido é construído e interpretado e o conhecimento reformulado pelo sujeito cognoscente. A adoção de tal perspectiva implica em um deslocamento do centro de gravidade linguístico da sala de aula: da linguagem quase que totalmente dominada pelo professor para o oferecimento de oportunidades que permitem aos alunos utilizarem as suas habilidades de fala, escrita e leitura.

O trabalho prático em laboratório também poderia servir para que alunos se conscientizassem de suas próprias idéias e das de seus colegas. Poderia ainda facilitar a mudança conceitual e a sua consolidação, contudo para que isto ocorra o simples contacto com a pares não é suficiente. Mais importante é que discussões sobre as predições e conclusões sejam estimuladas, antes e após o "experimento"; que a leitura de materiais que requeiram a discussão em grupo (e não de roteiros tipo receituário) seja encorajada; e que um relato criativo destas atividades seja valorizado.

Entretanto, mais do que a aplicação desta ou daquela técnica (o que dependerá de uma análise de situações específicas concretas) a problemática introduzida pelas pesquisas concernentes a noções espontâneas exigirá de uma boa parte dos professores uma reavaliação do papel do aluno e, por implicação, uma reavaliação do seu próprio papel como educadores.

REFERÊNCIAS E NOTAS

- (1) Estas noções originam-se tanto através da experiência direta com o mundo físico, como também através da experiência indireta com o mesmo, isto é, mediada pela interação social e linguística com o círculo familiar, comunidade e meios de comunicação. Neste artigo serão usadas as expressões "noções espontâneas" e "concepções espontâneas" para indicar a ausência de uma intenção educativa no processo formativo das mesmas.
- (2) Os conceitos a serem tratados neste artigo referem-se a tópicos relacionados com mecânica, que tem sido a área mais explorada. Para exemplos de estudos em outras áreas da Física ver:

Terminologia - E.F. Albert, "Development of the concept of heat in children", *Sci. Educ.* 62(3), 1978; A. Tiberghien e G. Delacote, "Resultats préliminaires sur la conception de la chaleur chez les enfants de 10 a 12 ans", in G. Delacote (Ed.), "Physics teaching in schools", London: Taylor and Francis, 1978; G. L. Erickson, "Children's viewpoints of heat: a second look", *Sci. Educ.* 64(3), 1980.

Óptica - E. Guesne, "Lumière et vision des objets: un exemple de représentation de phénomènes physiques préexistant à l'enseignement", in G. Delacote (Ed.), "Physics teaching in schools", London: Taylor and Francis, 1978; B. Stead e R. Osborne, "Exploring science students' concepts of light", Aust. Sci. Teac. J. 26(3), 1980; B. Anderson e C. Karrqvist, "Light and its properties", EKNA-report nr 8, Goteborgs Universitet (Suécia), 1982.

Eletricidade - C.V. Rhöneck, "Students' conceptions about the electric circuit before physics instruction", in W. Jung, H. Pfundt e C.V. Rhöneck (Eds.), "Proceedings of the International Workshop on Problems Concerning Student's Representation of Physics and Chemistry Knowledge", Pädagogische Hochschule, Ludwigsburg (Alemanha Federal), 1981.

Outros tópicos - S. Novick e J. Nussbaum, "Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: an interview study", Sci. Educ. 62(3), 1978; J. Nussbaum e J.D. Novak, "An assessment of children's concept of Earth utilizing structured interviews", Sci. Educ. 60(4), 1976.

- (3) Por exemplo, a constante afirmação por parte de professores secundários de que seus alunos não aprendem Física por falta de base matemática. Este é um aspecto que não deve ser negligenciado, mas que ao mesmo tempo não deve ser privilegiado em detrimento de aspectos de ordem conceitual.
- (4) Significando concepção errada ou equívoco respectivamente.
- (5) R. Driver e J. Easley, "Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students", Stud. Sci. Educ. 5, 1978.
- (6) J.K. Gilbert, "Alternative conceptions: which way now?", Invited paper to the AAPT Winter Meeting, New York, 1983.
- (7) J.K. Gilbert, R.J. Osborne, P.J. Fensham, "Children's science and its consequences for teaching", Sci. Educ. 66(4), 1982.
- (8) L. Viennot, "Le raisonnement naturel en dynamique élémentaire", Thèse, Université Paris VII, 1977.
- (9) E. Saltiel, "Concepts cinématiques et raisonnements naturels: étude de la compréhension de changements de référentiels galiléens par les étudiants en science", Thèse, Université Paris VII, 1978.
- (10) A. Villani, J.L.A. Pacca, R.I. Kishinami, Y. Hosoume, "Analisando o ensino de Física: contribuições de pesquisas com enfoques diferentes", Rev. de Ens. de Fís. 4, 1982.

- (11) Para exemplos de estudos abordando outros tópicos em mecânica ver:

Cinemática - E. Saltiel e J.L. Malgrange, "Spontaneous ways of reasoning in elementary kinematics", Eur. J. Phys. 1, 1980; e também Ref. (9) e Ref. (10).

Estática - J. Minstrell, "Explaining the "at rest" condition of an object", Phys. Teac. 20(1), 1982.

- (12) Os exemplos a serem apresentados foram extraídos de estudos realizados na Europa e nos EUA em sua maioria. O número de estudos realizados no Brasil é ainda bastante restrito, com apenas um grupo (no IFUSP) trabalhando sistematicamente no assunto (ver Ref. (10)). Acredito, contudo, que nossos alunos, pelo menos os de classe média urbana, apresentam concepções semelhantes às que las exemplificadas neste artigo. Esta é uma hipótese que necessita todavia comprovação empírica.
- (13) A. Zylbersztajn e D.M. Watts, "Surveying some ideas about force - a pilot study", IET - University of Surrey, 1980 (mimeo). Uma versão resumida deste estudo é apresentada em D.M. Watts e A. Zylbersztajn, "A survey of some children's ideas about force", Phys. Educ. 16(6), 1981.
- (14) M.F. Thomaz, "Inquérito sobre a compreensão do conceito de força. Implicações no ensino", Depto. de Física, Universidade de Aveiro, 1982 (mimeo); R.W. Wright, "Students' misconceptions of some principles in physics", Dept. of Physics - Kenyatta University College, 1982 (mimeo).
- (15) J. Clement, "Students' preconceptions in introductory mechanics", Am. J. Phys. 50(1), 1982.
- (16) J.W. Warren, "Circular motion", Phys. Educ. 6(2), 1971.
- (17) L. Viennot, "Spontaneous reasoning in elementary dynamics", Eur. J. Sci. Educ. 1(2), 1979. (Este artigo é uma versão resumida da Ref. (8)).
- (18) No caso, as teorias medievais do "impetus" desenvolvidas pelos críticos escolásticos de Aristóteles (principalmente J. Buridan e N. Oresme). A respeito ver T.S. Kuhn, "The Copernican revolution", Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1957.
- (19) D.M. Watts, "Gravity - don't take it for granted", Phys. Educ. 17(3), 1982.
- (20) J.J. Moorfoot, "An alternative method of investigating pupils' understanding of physics concepts", Sch. Sci. Rev. 64(228), 1983.

- (21) Esta explicação é sugerida por D.M. Watts na Ref. (19).
- (22) Nem todos estes alunos contudo mencionaram explicitamente que a força de gravidade aumentasse com a altura. Curiosamente, 20% do total da amostra respondeu que a força é maior porque no alto a ladeira é mais inclinada, quando a figura que ilustrava a questão mostrava uma ladeira com declividade constante.
- (23) R. Driver, "The pupil as a scientist", trabalho apresentado na conferência GIREP, Rehovot (Israel), 1979.
- (24) Note-se a similaridade desta noção com a teoria aristotélica que considerava a Terra (centro do universo) como o foco para o qual os corpos deveriam "naturalmente" tender.
- (25) A maior parte dos trabalhos na área tem se direcionado para a identificação de concepções espontâneas e apresentado apenas su gestões de ordem geral para o ensino. Estes trabalhos têm a sua validade, pois além de chamarem a atenção para a problemática, fornecem aos professores exemplos concretos de noções que podem ocorrer entre seus alunos. Por outro lado, a área ressen-te-se de falta de pesquisas direcionadas especificamente no sentido de como trabalhar estas noções em sala de aula. Um exemplo de pesquisa com esta finalidade é a Ref. (27).
- (26) Textos didáticos geralmente sugerem que anteriormente a Galileu o atrito não era levado em conta no estudo do movimento. Daí a necessidade de se assumir, por exemplo, uma força para a manutenção de um movimento uniforme. Contudo, mesmo Aristóteles (que nos livros-textos é usualmente contraposto a Galileu) considerava a existência de forças dissipativas. Ver a respeito E.J. Dijksterhuis, "The mechanization of the world picture", London: Oxford University Press, 1961.
- (27) N. Nussbaum e S. Novick, "Creating cognitive dissonance between students' preconceptions to encourage individual cognitive accommodation and a group cooperative construction of a scientific model", trabalho apresentado na Conferência Anual da AERA, Los Angeles, 1981. Ver também: J. Nussbaum e S. Novick, "Brainstorming in the classroom to invent a model: a case study", Sch. Sci. Rev. 62 (221), 1981.
- (28) Um exemplo de como concepções espontâneas poderiam receber um tratamento respeitoso por parte de professores é através da menção, sempre que possível, de paralelos entre tais concepções e teorias que foram, no passado, aceitas pelo conhecimento "oficial". A teoria medieval do "impetus" (Ref. (18)) constitui um

caso em que este paralelismo não é aproveitado didaticamente: livros-textos, quando muito, após mencionarem Aristóteles (quase sempre como o "vilão" da história, e portanto a-historicamente) saltam direto para Galileu. O proposto nesta nota implica certamente na necessidade de uma formação mais adequada em história e filosofia da ciência do que aquela normalmente oferecida pelas nossas licenciaturas.

- (29) D. Barnes, "From communication to curriculum", Middlesex: Penguin, 1976.