

IFUSP/P 488
B.I.F. - USP

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE FÍSICA
CAIXA POSTAL 20516
01498 - SÃO PAULO - SP
BRASIL

PUBLICAÇÕES

IFUSP/P-488

CONCEPÇÃO ESPONTÂNEA SOBRE MOVIMENTO

A. Villani, J.L.A. Pacca, Y. Hosoume

Instituto de Física, Universidade de São Paulo



Setembro/1984

CONCEPÇÃO ESPONTÂNEA SOBRE MOVIMENTO

A. Villani, J.L.A. Pacca, Y. Hosoume

Instituto de Física, Universidade de São Paulo,
Caixa Postal 20516, 01498 São Paulo, SP, Brasil

INTRODUÇÃO

Nestes últimos anos têm sido desenvolvidas muitas pesquisas sobre as concepções espontâneas em física apresentadas por estudantes de 1ª, 2ª e 3ª graus⁽¹⁾, principalmente na área de mecânica⁽²⁾, onde foram tratados conceitos de força, energia além de conceitos cinemáticos tais como velocidade, aceleração, trajetória, distância percorrida e intervalo temporal.

Os resultados das pesquisas, que se utilizam das mais variadas técnicas, extraíndo informações dos estudantes através de entrevistas, testes, problemas, etc., muitas vezes coincidem mas, outras vezes, parecem dizer respeito a universos distantes e não relacionados. Certas diferenças, talvez mais aparentes do que reais, são entretanto bastante significativas, o que leva a levantar a hipótese de que deve existir algo mais fundamental que possa explicar e relacionar todas as idéias e os exemplos já explicitados neste campo.

Neste trabalho pretende-se dar uma contribuição para o entendimento das concepções espontâneas, apresentando o que se julga serem idéias mais fundamentais da concepção de movimento e que podem explicar os resultados até agora encontrados na área de mecânica.

A exposição consta de três partes: na primeira são resumidos os resultados mais importantes conseguidos pelos vários

pesquisadores e que constituem a base da discussão; na segunda parte é introduzida a idéia de movimento absoluto como unificada dos vários resultados e, finalmente, na terceira parte são discutidas algumas consequências de caráter pedagógico.

1. IDÉIAS ESPONTÂNEAS SOBRE MOVIMENTO

No trabalho pioneiro de L. Viennot⁽³⁾ é abordada a relação entre força e velocidade; os resultados mais interessantes que compõem o modelo espontâneo apresentado pela autora são:

- a) A força capitalizada, intrínseca ao corpo em movimento, capaz de explicar a persistência do movimento de um corpo, após seu lançamento.
- b) A relação de proporcionalidade entre força motora e velocidade, de forma que o variar ou o aniquilar-se de uma corresponde à variação ou ao aniquilamento da outra.
- c) A ambigüidade entre os conceitos de força e energia cinética.

Resultados análogos foram encontrados numa pesquisa nos E.U.A.⁽⁴⁾ e também no Brasil⁽⁵⁾; na primeira foram também encontrados exemplos da idéia espontânea, pela qual o movimento de um objeto depende essencialmente da sua trajetória anterior⁽⁶⁾.

No trabalho de McCloskey⁽⁷⁾ foi encontrado um outro resultado a respeito de conceitos espontâneos nessa área que pode ser assim caracterizado: um movimento livre pode descrever uma trajetória curvilínea que, numa situação anterior, era determinada por forças reais, como se guardasse uma espécie de memória dessa situação.

Também significativas nos parecem as conclusões de

Trowbridge⁽⁸⁾ e Aiello⁽⁹⁾, para as quais os alunos não parecem diferenciar os conceitos de velocidade e aceleração. No Brasil⁽⁵⁾ foram encontrados resultados análogos com exemplos de respostas que mostravam uma relação explícita de proporcionalidade entre velocidade e aceleração.

No campo da cinemática, ligada a mudança de referencial, E. Saltiel⁽¹⁰⁾ chegou as seguintes conclusões, com relação a conceituação espontânea:

- a) Velocidade, trajetória e distância percorrida são conceitos absolutos e não tem relação intrínseca com o sistema de referência.
- b) O movimento pode ser explicado sob um aspecto causal segundo o qual a existência de um motor é responsável pela velocidade observável de um objeto.
- c) O movimento pode também ser explicado sob um aspecto descritivo segundo o qual ele está ligado ao espaço absoluto; neste espaço são caracterizadas trajetória e distância percorrida verdadeiras, em oposição às aparentes, observadas por sujeitos em movimento.
- d) A grandeza física tempo não aparece como responsável pelas diferenças encontradas por observadores em movimento; assim, também a duração do movimento depende somente dos pontos inicial e final fixos no espaço absoluto.
- e) O movimento relativo é substituído por uma soma de movimentos absolutos numa situação em que existe "arrastamento"; assim, velocidade e distância reais são obtidas pela soma das velocidades e das distâncias percorridas pelo objeto considerado, com as do móvel que o arrasta.

Resultados complementares obtidos por Hosoume et al.⁽¹¹⁾

salientam:

- f) A extensão da propriedade de ser próprio ou aparente às grandezas tempo, tamanho e trajetória de um objeto, sendo que, a priori, o tempo e a trajetória próprios são intrínsecos ao movimento.
 - g) A extensão do efeito "arrastamento" ao caso do observador em movimento; neste caso todas as medidas da sua observação são ditas aparentes.
 - h) A existência de observadores privilegiados, definidos como aqueles que têm acesso mediato aos valores próprios das grandezas espaciais e temporais que caracterizam o movimento.
- Recentemente uma pesquisa sobre a invariância da velocidade da luz⁽¹²⁾ forneceu, em caráter ainda preliminar, as seguintes pistas, entre as respostas de alunos de pós-graduação:
- α) A invariância da velocidade da luz é identificada com uma velocidade única igual em todas as direções.
 - β) A distância percorrida pela luz, relativa à diferentes observadores não é considerada através da transformação de distâncias, mas como soma ou diferença de distâncias próprias percorridas pelos observadores e pela luz.
 - γ) O efeito de contração do espaço é associado somente ao movimento próprio (absoluto) dos objetos e não ao movimento relativo a diferentes observadores.
 - δ) As categorias "real" e "aparente" são utilizadas para caracterizar, de um lado o movimento e as grandezas absolutas e, de outro lado, as medidas de diferentes observadores.

2. A IDÉIA DE MOVIMENTO ABSOLUTO

Os trabalhos que visam identificar e caracterizar concepções espontâneas têm sempre a preocupação básica de localizar idéias fundamentais que, nas várias manifestações dos estudantes ao pensarem sobre certo conteúdo, podem assumir roupagens diversas.

Nos diferentes trabalhos apresentados, as grandezas relativas ao movimento aparecem relacionadas entre si e caracterizadas de maneira não ortodoxa permitindo interpretações e propostas de modelos explicativos, obviamente dependentes das situações utilizadas para extrair as informações (os dados). Assim, numa pesquisa aparece a relação intrínseca entre força e velocidade, noutra a retenção pela trajetória do objeto de uma situação passada, noutra a relação de proporcionalidade entre velocidade e aceleração, noutra o caráter absoluto da velocidade e distância percorrida, etc..

Estas idéias, aparentemente bastante diferentes, não são conflitantes se analisadas no seu significado mais fundamental. A hipótese que se faz aqui é que todas elas são diferentes manifestações de uma idéia primordial: o movimento é essencial e absoluto; isto é, o movimento está sempre ligado a uma força intrínseca e viva que o sustenta e dirige, independentemente de observadores.

Dessa forma, as idéias espontâneas sobre movimento não se referem primordialmente às grandezas cinemáticas tais como velocidade, espaço, tempo ou trajetória, nem às grandezas dinâmicas tais como força ou energia, mas representam a concepção do próprio movimento como algo substancializado.

Consequentemente, um corpo está ou não em movimento

somente se possui ou não uma força viva intrínseca; esta pode ser fornecida de maneira contínua, por exemplo, por um motor, como no caso de um barco a motor que pára quando cessa o efeito de seu motor, ou pode ser armazenada de uma vez como força capitalizada após um impulso rápido, extinguindo-se pouco a pouco durante o movimento, como no caso de uma pedra lançada para o alto.

Esta força viva que sustenta o movimento e que pode também ser identificada qualitativamente como energia cinética é também responsável por uma certa inércia do movimento; neste caso, a continuidade na trajetória não depende basicamente de sua velocidade instantânea no momento em que o movimento se torna livre, mas depende do movimento até então realizado e da força que o sustentava. Dessa forma é possível explicar as trajetórias curvilíneas de um objeto após sair de um movimento circular ou a retomada da direção de um movimento anterior ao cessar a força que a alterou subitamente.

Na física formal, os conceitos de velocidade e aceleração são utilizados para caracterizar o movimento e essa nomenclatura é também utilizada na vida diária no próprio contexto de movimento. Entretanto a idéia do movimento como se fosse uma substância parece ser mais fundamental levando a considerar que velocidade e aceleração são detalhes que pouco contribuem para sua identificação e que, qualitativamente, dependem do próprio movimento; isto é, quando o movimento se modifica, também sua velocidade e aceleração o fazem e, qualitativamente, velocidade e aceleração podem ser considerados proporcionais.

Analogamente as relações força-velocidade e força-aceleração são sub-produtos da ligação fundamental e intrínseca entre força e movimento; isso explica a facilidade em se encontrar entre as concepções espontâneas a ligação entre força e velocidade e também o conhecimento da relação algébrica newtoniana entre for

ça e aceleração, tão rapidamente memorizada pelos estudantes.

No campo da cinemática, a interpretação dos resultados torna-se quase imediata. Se o movimento é uma essência do próprio objeto, então a trajetória e a velocidade do objeto serão únicas e independentes da existência e da localização de um observador. O próprio movimento, quando houver um início e um fim, localizáveis no espaço, será caracterizado, além de uma duração própria, também por um ponto inicial e um ponto final fixos - uma distância percorrida própria.

O movimento, através da sua trajetória, definirá implicitamente um espaço único, atemporal e também independente de observadores. Movimentos essenciais podem dar origem a composição de movimento nas quais os espaços percorridos e as velocidades são somas ou diferenças resultantes da soma ou diferença de movimentos, como nos casos de "arrastamento".

Esta concepção de movimento é tão enraizada e coerente que pode também explicar os resultados espontâneos para os conceitos relativísticos tais como: a invariância da velocidade da luz com sua raiz no movimento isotrópico da luz e a possibilidade de aplicar os efeitos relativísticos de contração das distâncias somente ao movimento absoluto.

A relação movimento (objeto)-observador é extrínseca ao movimento, nada lhe acrescentando nem influenciando suas características próprias.

O único elemento que pode modificar um movimento próprio, de acordo com as concepções espontâneas, é uma força aplicada adequadamente ou o esvaír-se ou extinguir-se da força intrínseca que o sustenta.

No entanto a relação movimento-observador tem suas regras: existem observadores privilegiados que, seja pela posição

especial que ocupam, seja pelo movimento que executam, têm possibilidade de observar ou de medir de forma coerente com o movimento próprio.

E como ficam os observadores não privilegiados, que não têm acesso imediato ao movimento próprio?

Para eles aparecerá um movimento "aparente", uma espécie de deformação, dependente da situação do observador. Assim, explicam-se as idéias de "tempo aparente", "trajetória aparente" e "velocidade aparente" encontradas com os estudantes brasileiros, bem como a possibilidade de medidas diferentes associadas a observadores diferentes.

A passagem de um observador para outro, dependendo da sua maior ou menor familiaridade com a situação física será uma questão de somar ou subtrair movimentos próprios, como no caso do "arrastamento" do objeto ou do observador, ou então dará origem às grandezas "aparentes", nos casos nos quais é evidente a diferença nas observações; nos casos em que a situação de movimento é pouco familiar, o estudante apela para uma invariância nas medidas.

COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Os resultados discutidos e a hipótese levantada acerca do conhecimento mais fundamental dos estudantes e que permeia todas as formas de resolver problemas em física pretendem contribuir diretamente para o ensino.

Se considerarmos que o aprendizado de conceitos se faz a custa de reelaborações de conceitos anteriores, mais rudimentares e incompletos, o professor atento deverá procurar ouvir

seus alunos na tentativa de perceber qual o pano de fundo de conhecimento sobre um determinado conteúdo e apoiar nele o ensino a ser efetivado.

Nosso trabalho de pesquisa procurou, de forma sistemática, extrair as idéias, chamadas por alguns pesquisadores de espontâneas ou intuitivas, sobre movimento de modo geral, dentro da cinemática, dinâmica e chegando até à cinemática relativística.

De acordo com os resultados encontrados, as idéias de espaço absoluto em que os movimentos se desenvolvem e de observadores privilegiados para os quais as grandezas medidas são reais parecem ser mais fundamentais do que velocidade, aceleração, força, distância percorrida.

Grande parte dos erros detetados pelo professor nos trabalhos escolares podem ser relacionados com as idéias que discutimos neste trabalho, referentes ao conteúdo de movimento. A alta frequência destas ocorrências e a persistência que elas mostram no processo de ensino justificariam partir-se destes conceitos mais fundamentais quando se pretende ensinar dinâmica, procurando analisar situações concretas em que as limitações, impostas pela maneira de pensar com conceitos espontâneos, apareçam explicitamente, e se procure reelaborar esse conteúdo.

O melhor caminho em situação de ensino pode, eventualmente, não ser partir de tais conceitos espontâneos, mas, de qualquer forma, será útil estar atento para o discurso dos estudantes, procurando não dar uma interpretação simplista para seu trabalho assinalando seus erros porque estes podem fazer parte de esquemas espontâneos que também têm uma coerência e que em outras situações foram suficientes para resolver problemas. A oportunidade de encontrar erros que claramente se encaixam nos modelos

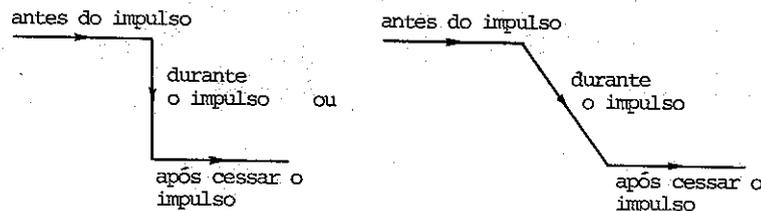
espontâneos já conseguidos através de pesquisas, deve ser aproveitada pelo professor que tem a convicção de que o ensino é uma construção de conteúdo sobre algo que já existe com uma determinada forma e funcionando em algumas situações especiais. Afinal, desde que nasce, o sujeito interage com o mundo, resolvendo problemas e construindo conceitos e esquemas para operar.

Outro fato que merece comentário com interesse volta do para o ensino é o valor que algumas idéias espontâneas, como espaço absoluto e observadores privilegiados, têm para algumas teorias físicas que tiveram sucesso em épocas passadas, sendo capazes de explicar coerentemente muitos fenômenos observados; mesmo na física de hoje, por exemplo na Teoria da Relatividade, encontram-se idéias que mostram uma proximidade maior com certos conceitos intuitivos do que com a física clássica, constituída de modelos bastante elaborados e formalizados.

Em resumo, estamos reafirmando que as idéias espontâneas, consubstanciadas nos erros dos estudantes, não devem de modo algum serem estirpadas sumariamente do repertório dos estudantes (mesmo porque se considerarmos válidas as idéias piagetianas sobre aquisição de conhecimento, tal processo nunca ocorrerá), mas devem ser discutidas, dentro de contextos em que são válidas e em que não o são, fazendo assim com que o ensino seja um processo crítico de construção de conhecimento e deixando portas abertas para o aprendizado das teorias mais modernas.

REFERÊNCIAS E NOTAS

- 1) Em 1983 no 1º Workshop Internacional sobre Pesquisa em Ensino de Física, quatro dos doze grupos de trabalho dedicaram-se à análise das representações não formais.
- 2) Uma lista de referências significativas nesta área pode ser encontrada em: L.C. McDermott: "Critical Review of research in the domain of Mechanics", Research on Phys. Ed.: proceed. 1st Int. Workshop - La Londe les Maures 1983 - pp. 137-182.
- 3) L. Viennot: "Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire", Herman, Paris, 1979.
- 4) J. Clement: "Students' preconceptions in introductory mechanics", Am. Jour. of Phys. 50 (1982) pp. 66-71.
- 5) J.L.A. Pacca, A. Villani, Y. Hosoume: "Conceitos intuitivos e conteúdos formais de Física: considerações. Publicações IFUSP/P-390 (1983).
- 6) Os casos mais interessantes são os de desenhos de alunos para os quais a trajetória de um foguete que recebe um impulso durante um certo tempo é do tipo:



- 7) M. McCloskey, A. Caramazzo and B. Green: "Curvilinear motion in the absence of external forces: naïve beliefs about the motion of objects", Science 210 (1980) pp. 1139.

- 8) D.E. Trowbridge and L.C. McDermott: "Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension", Am. Jour. of Phys. 49 (1981) pp. 242.
- 9) M.L. Aiello-Nicosia, R.M. Sperandeo-Mineo: "An Experimental Study of the Relationship between formal thinking and physics achievement", Eur. J. Sc. Educ. 4 (1982).
- 10) E. Saltiel: "Concepts cinématiques et raisonnements naturels: étude de la compréhension des changements de référentiels galiléens par les étudiants en science", Thèse - Paris VII - 1978.
- 11) Y. Hosoume, A. Villani, J.L.A. Pacca: em preparação.
- 12) A. Villani, J.L.A. Pacca: "Idee Spontanee sulla velocità della luce", Publicações IFUSP/P-483, 1984.
- 13) A. Champagne, comunicação particular para um dos autores (A.V.).
- 14) B. Doran: "Origins and Consolidation of Field Theory of XIX Century Britain: from the Mechanical to the Electromagnetic view of Nature", Hist. Stud. Phys. Sc. 7 (1977) pp. 133-255.