

# Concepções Sobre Força e Movimento\*

(Conceptions About Forces and Motion)

Yukimi H. Pregnotatto, Jesuina L. A. Pacca

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

e

Carlos Toscano

Faculdade de Educação, Universidade Federal de São Carlos, 13560-970 São Carlos, SP

Recebido em 4 de Abril de 1990; revisão feita pelos autores em 2 de Maio de 1991.

Acceto para publicação em 21 de Junho de 1991

## Resumo

Este trabalho estuda as concepções dos estudantes sobre forças e movimento procurando encontrar idéias mais fundamentais que dêem conta das respostas a vários problemas que, do ponto de vista do professor, referem-se a conteúdos ou contextos distintos mas compatíveis com as leis de Newton. Foram escolhidos três problemas extraídos da literatura específica sobre o tema. Eles foram propostos para encontrar relações alternativas sobre movimento e suas causas em fenômenos contextualmente diferentes, envolvendo sempre as leis de Newton. Os resultados da análise mostram que os estudantes encontram algumas semelhanças e diferenças entre os problemas quanto a fatores não convencionais que chamamos de *agente tipo força* e *agente tipo vínculo*. Estes fatores levam os estudantes a contextualizar os problemas num quadro incompatível com a Mecânica Newtoniana.

## Abstract

This paper studies student's conceptions about force and motion in search for fundamental ideas which may account for the answers to several problems which, from teacher's point of view, refer to different contents or contexts although compatible with Newton's law. Three problems were selected from the specific literature about the subject. They were proposed with the scope of finding alternative relations about motion and its causes in contextually different phenomena but always involving Newton's laws. The results of the analyses indicate that students find some similarities and differences among problems regarding to unconventional factors which we called *force kind agent* and *bond kind agent*. These factors lead students to contextualize problems within a framework which is incompatible with Newtonian Mechanics.

## I. Introdução

É fato cada vez mais conhecido que, a despeito da instrução formal em qualquer campo do conhecimento, um complexo e resistente modo alternativo de interpretação da realidade parece se construir e sobreviver intensamente.

Diferentes expressões - estruturas conceituais, concepções alternativas, representações mentais, ou simplesmente concepções espontâneas ou pensamento natural - procuram dar conta deste fato.

Em face das regularidades que os alunos apresentam

quando solicitados e se manifestaram dentro de temas específicos do conhecimento científico, é da maior importância que elas, além de detectadas, sejam descritas convenientemente em termos de estruturas conceituais, modos de raciocínio mais fundamentais e abrangentes, para que o ensino escolar possa basear-se também nesses elementos para construir com precisão e significado o conhecimento cientificamente aceito.

O modo de pensar dos indivíduos, quando tomado naquilo que ele contém de mais essencial e básico, dá conta de suas concepções de realidade que permeiam todas as suas explicações dadas aos fenômenos físicos, em certa medida, independentemente do contexto.

\*Com auxílio parcial da CAPES e CNPq.

O conteúdo de mecânica tem sido grandemente explorado nas pesquisas sobre concepções alternativas dos indivíduos, através de diferentes situações físicas contidas em problemas e questionários e através de diferentes metodologias de pesquisas. Alguns resultados são comuns às diferentes pesquisas, outros, ao contrário, dependem do contexto apresentado como problema, aparecendo numa ou noutra situação.

Relendo alguns trabalhos sobre concepções alternativas com problemas de mecânica, pensamos em refazer os experimentos com o objetivo de encontrar algumas concepções, as vezes diferentes das que haviam sido encontradas pelos autores, e que poderiam ser comuns aos modos de explicar aqueles diferentes problemas. O conteúdo geral tratado era o de força e movimento mas as situações apresentadas eram contextualmente diferentes.

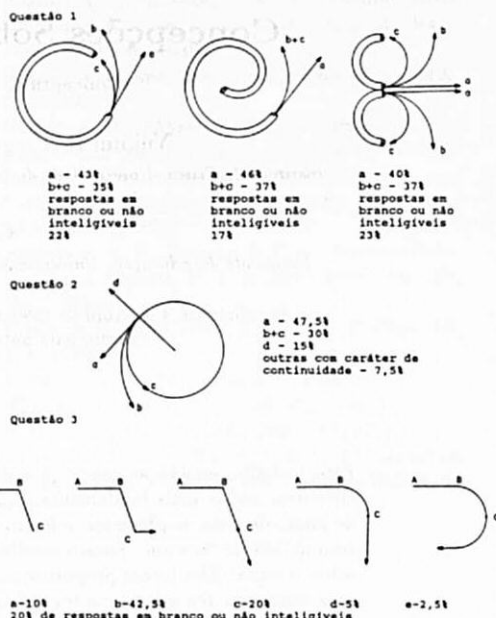
Com a finalidade de estudar a concepção de força e movimento em alunos do 2º grau, quanto aos aspectos mais essenciais dessa conceitualização independentes de contextualização, um grupo de alunos foi submetido a um questionário previamente elaborado contendo 3 questões de dinâmica envolvendo força, movimento e vínculos. Como já foi dito, os problemas foram tomados da literatura específica, fazendo parte de pesquisas realizadas independentemente e com objetivos diferentes (Clement, 1977; McClosley, 1980).

A idéia era exatamente analisar conjuntamente as respostas dadas aos diversos problemas, através de um instrumento de análise único. O universo com o qual trabalhamos foi o de alunos de 3ª série do 2º graus. Foram aplicados um total de 86 testes.

## II. Metodologia de Análise

As pesquisas sobre conceitos alternativos têm utilizado o discurso dos alunos sobre questões de conteúdo específico como fonte de dados concretos que, através de análise adequada, seja capaz de revelar aspectos qualitativos interessantes do ponto de vista explicativo. Entretanto, parece que na interpretação que se faz dos dados brutos ainda se dá pouca margem para que a visão do aluno possa se revelar em detrimento da nossa expectativa. Em outros termos, problemas que para o professor parecem ser idênticos a menos de contextos diferentes, para o estudante mostram-se completamente diversos, sendo então explicados através de relações distintas.

Esta análise é feita a partir da elaboração de categorias que têm significado específico e estritamente ligado à natureza das informações que se quer obter (Pacca, 1987). No nosso caso particular, uma análise foi feita em função das respostas gráficas dos alunos, posto que não foi solicitado explicitamente qualquer justificativa para a resposta, seja ela escrita no próprio questionário, seja na forma de entrevista. A unidade de análise no nosso caso foi somente o traço que representa a trajetória solicitada pelas questões.



Quadro I - Classificação das Respostas

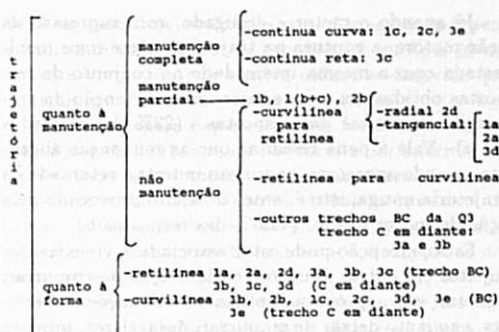
## III. As questões, as respostas obtidas e sua classificação

As três questões propostas solicitavam o esboço da trajetória de um objeto em movimento em diferentes circunstâncias. Uma delas tratava do movimento de bolinhas em tubos de diferentes formas geométricas; noutra era proposta a situação de uma pedra que gira presa a um barbante e num certo instante se rompe. Por último, propunha-se a situação de um foguete já em movimento uniforme que aciona o motor num certo instante e posteriormente é desligado. Os enunciados completos das questões encontram-se em apêndice.

O Quadro I indica o tipo das respostas obtidas, suas feições e sua incidência em termos percentuais.

A partir da identificação das respostas obtidas é possível, em termos de conteúdo manifesto no traço que indica a trajetória de um certo objeto, elaborar o seguinte Quadro II de Categorias.

Os diferentes tipos de feições de respostas, obtidas para cada uma das situações propostas, chama a atenção particularmente no aspecto comum às três questões, e que se refere à existência de um ou mais pontos críticos na trajetória, que distinguem situações típicas, podendo caracterizar trechos de trajetória diferentemente. Por exemplo, no caso dos tubos este ponto



Quadro II de Categorias

crítico da trajetória está localizado imediatamente após o término do tubo, pois a partir desse momento, o vínculo bolinha-tubo, não existe mais. No movimento da pedra presa ao barbante, este *ponto crítico* está associado ao momento da quebra do mesmo e no movimento do foguete haverá dois  *pontos críticos* na trajetória: um associado ao fato de ser ligado o seu motor e o outro quanto este for desligado.

É possível analisar as respostas obtidas em função desse *ponto crítico*. No caso da questão envolvendo os tubos, o *ponto crítico* na trajetória não se manifesta na forma de alteração abrupta (as feições 1b e 1c somadas chegam a 35% aproximadamente para as três situações propostas e a feição 1a varia entre 40% e 46%). O mesmo já não ocorre na questão da pedra/barbante onde o *ponto crítico* da trajetória se manifesta com mudança abrupta que identificamos como feição 2d.

Na questão do foguete em que há dois  *pontos críticos* na trajetória, também aparecem respostas que indicam manifestação de mudança abrupta mas com duas particularidades. Uma indicação de mudança abrupta muito maior no primeiro *ponto crítico* (quando o motor do foguete é ligado) quando comparado com o segundo (quando o motor é desligado). A outra particularidade se refere ao retorno ao movimento original do foguete (antes do motor ser ligado) após o segundo *ponto crítico* (quando o motor é desligado).

A opção de analisar as respostas tomando como referência certos pontos das trajetórias traz em si certamente uma expectativa do pesquisador que a realiza. Nesse sentido, o mesmo conteúdo manifesto no traço que representa a trajetória poderia ser analisado diferentemente. Ocorre que, nesse caso, essa escolha veio de encontro aos resultados obtidos, o que nos permitiu considerar alguns elementos que poderiam estar presentes na concepção dos alunos no que diz respeito aos fatores que influenciariam e/ou determinariam mudanças abruptas nos movimentos e portanto na trajetória. Pode-se considerar que tal opção tinha por trás as seguintes hipóteses:

1. Mudanças abruptas no movimento estariam associadas as alterações em forças ou vínculos.
2. A supressão e a adição de fatores físicos teriam efeitos diferentes.
3. O tempo de resposta a tais alterações dá conta da intensidade com que eles aparecem.

As três questões podem ser analisadas à luz da supressão ou adição de alguma coisa que possa modificar seu curso. O final do tubo marcaria a supressão de um agente responsável pela trajetória curva da bolinha nas três situações; o rompimento do barbante marcaria a supressão do agente responsável pela trajetória circular da pedra e finalmente o desligar do motor do foguete marcaria a supressão do agente responsável pela trajetória anterior do foguete, a partir deste ponto. Já o ligar do motor do foguete marcaria a adição de um agente modificador do movimento a partir deste ponto.

#### IV. Análise dos Resultados

A análise comparativa das respostas nos leva a suspeitar que para os alunos existe uma diferença na situação da questão 1 de um lado e as questões 2 e 3 de outro.

Pode-se pensar que esta diferença esteja associada ao tipo de  *agente* que estaria atuando em cada caso. Assim, na ótica do aluno, poderiam haver dois tipos de agentes que estamos denominando de  *agente tipo força* e  *agente tipo vínculo*<sup>1</sup>. O  *agente tipo força* estaria presente nas questões 2 e 3, representando respectivamente a força do motor do foguete e a força do barbante; nos dois casos este agente forçaria o movimento natural tanto do foguete como também da pedra. O  *agente tipo vínculo* estaria presente na questão 1 representando a força do tubo sobre a bolinha.

Entretanto, a supressão de um  *agente tipo força* ou de um  *agente tipo vínculo* traria características diferentes aos resultados. Assim, a supressão de um  *agente tipo força* manifestar-se-ia através de mudança abrupta na trajetória buscando um retorno ao movimento original, enquanto a supressão de um  *agente tipo vínculo* manifestar-se-ia através da manutenção da trajetória. Em outras palavras poder-se-ia dizer que um  *agente tipo força*, após suprimido, não deixa marcas no movimento, ao passo que um  *agente tipo vínculo* deixa marcas bastante claras.

A  *tendência natural* do foguete na questão 3 seria prosseguir vagando no espaço e por isso, a partir do momento em que o motor é novamente desligado, o foguete voltaria ao seu  *movimento natural*.

No caso da questão 2, uma força atuando no barbante, fixo no centro da circunferência, estaria contrariando a  *tendência natural* da pedra, obrigando-a

<sup>1</sup> Com  *agente tipo força* e  *agente tipo vínculo* queremos dizer um agente que na ótica do aluno provocará efeitos diferentes a depender da característica do vínculo físico por ele percebido no problema.

t r a j e t ó r i a	resultante do acréscimo de um agente	*agente tipo força	características da mudança abrupta	trecho (BC) em que o motor do foguete esteve ligado Feições 2a, 2b, 2d, 2e
		*agente tipo força*	característica de mudança abrupta com retorno ao movimento inicial	trecho em que o motor do foguete é desligado Feição 2b após o instante em que o barbante se rompe: Feição 2d
	resultante da supressão de um agente	*agente* vínculo*	característica de manutenção total ou parcial	bolinha após sair dos tubos: Feições 1b e 1c pedra após rompimento barbante: Feições 2b e 2c foguete após desligado o motor: Feições 2c e 2e

Quadro III de Categorias

movimento circular. Quando o barbante se rompe, haveria uma volta à tendência inicial, ou seja, a pedra tenderia a sair radialmente para fora pois não haveria mais nada impedindo este *movimento natural*.

No caso da adição de um *agente tipo força*, que aparece na questão 3 quando o motor do foguete é ligado, a trajetória seria modificada abruptamente.

Estas considerações procuram levar em conta o conteúdo que estaria latente nas respostas dos alunos. Com base nesta interpretação das respostas, é possível construir o seguinte Quadro III de Categorias:

## V. Considerações Finais

A análise das respostas obtidas tomando como critério a idéia de que ora algo é suprimido ora é acrescentado parece ser interessante para se compreender as respostas que se mostram surpreendentes por sua *incoerência* ao tratar de situações físicas idênticas.

Um primeiro aspecto a considerar é que parece que o efeito de se acrescentar algo provoca uma mudança abrupta ou ruptura com a situação anterior de modo mais incisivo quando comparado com o efeito produzido pela sua supressão.

Nesse contexto de análise, o problema do foguete é de particular importância uma vez que contém ambas as situações (adição e supressão) e a diferença na concepção dos efeitos provocados nos dois casos se manifesta mais claramente. Quando o motor do foguete é ligado, a mudança abrupta na trajetória com a adição do efeito produzido pela ação do motor aparece pronunciada para a maioria das respostas obtidas nesse grupo de alunos. (80% das respostas a.b.c.d.e.).

Já quando o motor é desligado, com supressão da ação motora, a ruptura na trajetória não é mais manifestada com a mesma intensidade no conjunto de respostas obtidas, ou seja, aparece a manutenção da trajetória em muitas das respostas. (22% das respostas c e e). Vale a pena ressaltar que as mudanças abruptas, quando aparecem, procuram indicar a retomada da trajetória antiga, isto é, antes do efeito provocado pela ação do motor ligado. (42,5% das respostas b).

Esta percepção pode estar associada à vivência dos sujeitos em outras situações onde a ação de empurrar, acelerar, etc..., provoca ruptura com situações anteriores, enquanto deixar de empurrar, desacelerar, provoca diminuição de intensidade, mas mantendo a situação anterior, pelo menos por um breve tempo.

Quando tais ações são compreendidas em termos de esforços, ação de força motora, etc..., a manifestação de ruptura na adição e de manutenção na supressão, é muito clara.

Isto talvez nos ajude a compreender o conjunto de respostas que indicam ruptura na situação da pedra presa ao barbante que gira e depois se rompe.

Na percepção do estudante, a força sobre a pedra presa ao barbante, que deixa de existir subitamente, favorece a ruptura do movimento, *libertando-a* para seguir o trajeto que era contrariado pela força.

O problema dos tubos ao que parece é o que menos propicia à interpretação de uma ação que provocaria uma alteração abrupta no movimento ou na trajetória da bolinha; as respostas esboçadas indicam manutenção do movimento anterior à saída da bolinha do tubo, pelo menos no trecho imediatamente após o final do tubo.

Nesse caso, a situação parece favorecer o entendimento de que ao sair do tubo, a ação deste sobre a bolinha foi subtraída e assim vai ocorrer uma alteração mais lenta no movimento ou na trajetória da bolinha.

A análise que fizemos nos leva a supor que situações que constituem um mesmo conteúdo para a física podem representar fatos diferentes para o leigo. No caso das questões 1 e 2, a tendência do professor tem sido de considerar os erros dos alunos quando apelam para uma *força centrífuga* (na questão 2 principalmente) como um desvio da teoria correta em vez de procurar a dificuldade do sujeito em perceber as situações como problemas idênticos.

A questão 1, por exemplo, pode ser, para o aluno, diferente do caso do *rotor* que ele conhece dos Parques de Diversões. Neste, o objeto em foco está fixo no vínculo, mais parecido com a pedra fixa no barbante. Nos tubos da questão 1, o objeto se move levando o estudante a colocar sua atenção na força que o vínculo está exercendo em cada ponto em vez de apelar para a *força centrífuga*. Daí a não existência de respostas do tipo d na questão 1.

Este trabalho sugere a existência de um modo de pensar dos indivíduos frente a problemas de Mecânica que tratam de forças, movimentos e vínculos. Partindo

de duas pesquisas realizadas anteriormente, independentemente uma da outra, procurou-se analisar os resultados com uma expectativa diferente daquelas que motivaram cada um dos autores de origem.

O que se espera é que esta nova focalização dos resultados e da análise realizada resulte em informações interessantes sobre modos de pensar alternativos que estariam na raiz das soluções dadas às questões de física mesmo que para os autores das questões estas se mostrem com conteúdos, contextos e exigências determinados.

Neste sentido, o instrumento de análise foi elaborado com características específicas e o resultado encontrado, mesmo que se possa questionar o pequeno número de sujeitos analisados, levanta algumas hipóteses sobre a concepção dos alunos sugerindo a existência de modos de pensar mais fundamentais e essenciais nas situações em que ocorrem movimentos em contextos de forças atuantes e vínculos.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a discussão e sugestões feitas pelos Profs. Idevaldo da Silva Bodião e Alberto Villani.

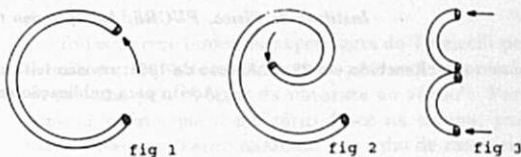
#### Bibliografia

1. Clement, J., 1977. "Catalogue of student's reasoning: Tendencies in interpretation", Depart. of Physics and Astronomy University of Massachusetts.
2. Holsti, R., 1969. *Content Analysis*, Handbook of Social Psychology, vol. II.
3. McCloskey, M. & Caramazza, A., 1980. *Curvilinear Motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects*. Science vol. 210, nº 3.
4. Ogborn, J., 1985. "Understanding student's understandings: An example from dynamics". *Eur. J. Sci. Educ.*, vol. 7, nº 2.
5. Pacca, J. L. A. & Villani, A., 1987. "A metodologia de análise nas pesquisas sobre conceitos alternativos" Publicações IFUSP/P-644.
6. Viennot, L., 1985. "Analyzing student's reasoning: tendencies in interpretation" *Am. J. Phys.*, vol. 53, nº 5.

#### Anexo

##### Questão 1

As figuras abaixo representam tubos de metal fino curvados, colocados sobre uma mesa. Uma bolinha indicada por uma flexa e sai pela outra extremidade. Trace a trajetória da bolinha depois que deixou o tubo. Ignore a resistência do ar e assuma que a bolinha saia dos 3 tubos com a mesma velocidade. Na figura 3, 2 bolinhas são colocadas: uma em cada tubo



##### Questão 2

Um prego é preso sobre uma mesa e nele é amarrado um barbante, em cuja extremidade oposta está presa uma bola. A figura abaixo mostra a trajetória circular da bola sobre a mesa, sendo que a seta indica o sentido do movimento. Suponha que o barbante se rompa quando a bola está na posição representada na figura. Trace a trajetória da bola depois que o barbante se rompe. Despreze o atrito tanto da bola com a mesa quanto do barbante com o prego.



##### Questão 3

Um foguete se move lateralmente no espaço de A a B com motor desligado. Ele não está perto de qualquer planeta ou sob ação de qualquer força externa. Seu motor é ligado no ponto B por 2 segundos e neste intervalo de tempo o foguete atinge o ponto C. Em C o motor é novamente desligado.

- a) Desenhe a forma da trajetória de B a C.
- b) Desenhe a trajetória do foguete a partir de C (posição em que o motor foi novamente desligado).

