

IFUSP/P-722

B.I.F. - USP

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

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

PUBLICAÇÕES

IFUSP/P-722

CONCEITOS ESPONTÂNEOS SOBRE COLISÕES

13 JAN 1989



Alberto Villani, Jesuina L.A. Pacca

Instituto de Física, Universidade de São Paulo

Julho/1988

CONCEITOS ESPONTÂNEOS SOBRE COLISÕES

Alberto Villani*
Jesuina L.A. Pacca

Instituto de Física, Universidade de São Paulo

Esta pesquisa foi realizada com estudantes de pós-graduação e procura conhecer o modo de pensar sobre a transmissão de movimento nos processos de colisões.**

A solução formal dada por estudantes de pós-graduação para problemas sobre esse conteúdo esconde, muitas vezes, modos de pensar incompatíveis com o formalismo matemático utilizado, que eventualmente leva a resultados corretos. Entretanto, certos problemas simples mas envolvendo condições essenciais para o fenômeno podem evidenciar tais modos de pensar e permitir-nos elaborar modelos alternativos.

Ao escolher a população de estudantes de pós-graduação fizemos a hipótese de que a bagagem de conhecimento intuitivo ou espontâneo seria mais facilmente revelada através de problemas mais qualitativos sobre conteúdos que não dissessem respeito ao trabalho que desenvolvem profissionalmente nas suas pesquisas. Nestas condições as concepções apresentadas seriam semelhantes às encontradas entre estudantes em nível inferior de escolaridade.

Contamos com a participação de estudantes do Instituto de Física da USP, na época cursando mestrado ou doutorado na área de física teórica, física experimental e ensino de física. Na primeira parte da pesquisa haviam 56

*Com auxílio parcial do CNPq.

**Este trabalho constitui uma reelaboração de parte de uma tese já apresentada (Villani, 1986).

estudantes e na segunda parte 59, dos quais 29 participaram também da primeira. A escolha dos estudantes foi feita com critérios práticos, no sentido de aproveitar suas disponibilidades.

OS PROBLEMAS

A situação é constituída por uma bola que desce um plano inclinado numa canaleta e se choca com um alvo no plano horizontal de uma mesa de bilhar. A colisão é central e considerada elástica. Diferentes situações são estabelecidas com bolas de três diferentes tamanhos e massas. Na primeira parte da pesquisa trata-se de uma colisão com um alvo simples (uma única bola) e na segunda parte com um alvo composto por duas bolas juntas.

As questões solicitam sempre a comparação entre duas condições dadas em que se variam as bolas incidentes e/ou os alvos. Estão reproduzidas no Apêndice 1.

O interesse da pesquisa é detetar o papel da interação recíproca entre as bolas e as influências das simetrias presentes nas situações apresentadas. No caso de colisão simples, foram apresentadas 5 situações. Para cada uma, as questões Q1 e Q2 se referiam a previsões sobre o comportamento das bolas incidentes e dos alvos respectivamente; as outras duas se referiam a quantidades físicas envolvidas na colisão: energia dos alvos após a colisão (Q3) e impulso fornecido pelas bolas incidentes na colisão (Q4). Solicitava-se aos estudantes que evitassem escrever e resolver equações e que utilizassem mais raciocínios qualitativos e comparativos, explorando eventualmente a relação entre as massas. Havia ainda uma situação extra em que a bola incidente era igual ao alvo correspondente.

A questão da interação durante a colisão pode ser analisada com problemas de colisão com um alvo composto (colisão múltipla).

No caso de colisão múltipla foram também apresentadas 5 situações: nas três primeiras comparam-se colisões que diferem unicamente por uma das bolas envolvidas (externa, intermediária ou incidente), nas duas outras as bolas incidentes são iguais mas os alvos são diferentes apesar de manterem uma simetria quanto à massa total. Note-se que na última situação após a colisão as bolas incidente e intermediária voltam para trás.

As questões Q1 e Q2 sobre o alcance das bolas externas e sobre o comportamento das outras (incidente e intermediária) são fenomenológicas. Quando as respostas indicavam movimentos de bolas no mesmo sentido perguntava-se se andavam juntas ou separadas.

As questões Q3, Q4 e Q5 referem-se a distribuições de energias e impulsos no processo todo.

As respostas formais "newtonianas" simplificadas consistiam na visualização de duas colisões independentes (incidente x intermediária e intermediária x externa), cada uma poderia ser tratada como uma colisão simples e os efeitos somados.

O MÉTODO DE PESQUISA

Os problemas foram propostos para os estudantes em entrevistas individuais, com duração entre 15 e 45 minutos no caso de colisão simples e entre 20 e 60 minutos no caso de colisão múltipla. O entrevistador anotava um resumo das respostas numa folha preparada para esse fim e apresentava este texto ao estudante que confirmava as idéias registradas. O roteiro consistia da solução das

questões Q1 e Q2 para as cinco situações e em seguida as Q3 e Q4 para as mesmas situações. Eventualmente era acrescentada ao final uma situação extra suplementar. Também no caso da colisão múltipla iniciava-se a entrevista com Q1 e Q2 para todas as situações.

Esse procedimento permitia que o aluno retornasse e, pelo menos em parte, avaliasse as respostas dadas anteriormente, confirmando-as ou modificando-as.

O entrevistador anotava a resposta final, a única que será objeto de análise neste trabalho; esta em geral apresentava maior coerência interna do que a inicial e portanto representaria melhor um conhecimento articulado. O número grande de entrevistas praticamente permitiu que as formulações finais contivessem todas as concepções utilizadas pelos alunos em algum momento da entrevista.

A grande maioria dos estudantes espontaneamente analisava o movimento das bolas até o choque desprezando o atrito e a consequente rotação. Os que levantavam este aspecto e a complexidade que ele introduzia, eram convidados a simplificar drasticamente a situação em favor de um possível movimento sem atrito.

RESULTADOS QUANTITATIVOS

Iniciaremos por uma análise quantitativa das respostas e uma interpretação grosseira das tendências mais significativas.

Colisões simples:- Questão 1. As respostas objetivas mostram que pelo menos 90% dos estudantes responderam corretamente às 5 situações apresentadas, isto é, foram capazes de prever corretamente a situação de maior alcance na mesa horizontal. Isto não ocorre com a situação suplementar (bola

incidente e alvo com pesos iguais) em que 1/3 dos interrogados deu respostas incompatíveis com a mecânica newtoniana.

O resultado global leva a pensar que as respostas corretas nas 5 situações são logradas quer considerando os pesos dos projéteis quer considerando os dos alvos como fator importante no alcance. Entretanto na situação suplementar é necessário ter a idéia mais articulada do alvo relativamente mais leve.

Questão 2. A tabela 1 mostra o resultado global indicando o tipo de movimento da bola incidente em função dos diferentes pares de bolas que se chocam. Com círculos estão indicadas as respostas newtonianas (desprezando o atrito e a rotação). Do lado esquerdo estão os casos em que a relação entre as massas do projétil e do alvo é menor do que 1 e do lado direito aquelas em que é maior do que 1.

Tabela 1 - Comportamento da bola incidente.

	P → G	M → G	M → M	M → P	G → P
continua	2	3	6	33	37
para	22	27	46	21	18
volta	32	26	4	2	1

P - bola pequena M - bola média G - bola grande

A situação mais fácil de prever é M → M; quanto mais a relação entre as massas se afasta da unidade tanto mais espontâneo prever o resultado newtoniano que corresponde ao movimento da bola incidente para frente ou para trás conforme o caso.

A análise das respostas sistemáticas para as diferentes situações que dá conta da coerência interna, mostrou que

- 22 estudantes parecem utilizar o modelo newtoniano;
- 16 previram a parada da bola incidente com qualquer alvo;
- 03 previram o mesmo movimento para a bola incidente (para a frente ou para trás) com qualquer alvo.

Considerando-se globalmente as duas primeiras questões que se referem à fenomenologia da colisão simples, 18 estudantes (31%) conseguiram responder coerentemente com o modelo newtoniano em todas as situações.

Questão 3. A tabela 2 mostra os resultados para todas as situações.

Tabela 2 - Energia dos alvos.

sit.1 $\begin{cases} M \rightarrow G \\ M \rightarrow M \end{cases}$	sit.2 $\begin{cases} M \rightarrow P \\ M \rightarrow M \end{cases}$	sit.3 $\begin{cases} G \rightarrow P \\ P \rightarrow G \end{cases}$	sit.4 $\begin{cases} G \rightarrow P \\ M \rightarrow M \end{cases}$	sit.5 $\begin{cases} P \rightarrow G \\ M \rightarrow M \end{cases}$
M > G 25	M > P 18	P > G 40	P > M 37	M > G 46
M = G 25	M = P 24	P = G 10	P = M 7	M = G 6
M < G 4	M < P 12	P < G 3	P < M 7	M < G 2
n.r 2	n.r 2	n.r 3	n.r 5	n.r 2

M→G significa energia do alvo M maior do que energia do alvo G.

Parece haver uma tendência em associar a energia do alvo à energia trazida pela bola incidente; as situações 1 e 2 mostram 45% dos estudantes atribuindo aos alvos (diferentes) igual energia após a colisão com bolas de massas iguais.

A situação 5 é a mais favorável tanto do ponto de vista das bolas incidentes como dos alvos. Ao contrário, a situação 2 é mais desfavorável.

Nota-se também que 45% dos estudantes, apesar de preverem a parada da bola incidente na colisão $M \rightarrow M$, não consideram a consequente transferência total de energia.

A análise das respostas sistemáticas considerada a coerência interna revela tendências interessantes na previsão da energia do alvo.

- 9 utilizam o modelo "newtoniano";
- 20 relacionam diretamente à massa da bola incidente;
- 11 relacionam inversamente à massa do alvo
- 4 consideram invariante (iguais).

Considerando-se as três questões analisadas, somente 7 estudantes deram respostas sistematicamente coerentes com a física "newtoniana". Nota-se também a tendência a focalizar a atenção sobre um dos corpos envolvidos sem utilizar a idéia de sistema e trocas de energia entre dois corpos.

Questão 4. Os resultados na tabela 3 mostram que a massa da bola incidente é o fator significativo para definir o impulso dado. Ainda mais, parece que os estudantes não trabalham com a idéia de transferência de momento (seja total ou parcial) de uma para outro corpo mas com a capacidade de um deles carregar algo que depende essencialmente da sua massa. Note-se que 75% dos estudantes fazem isso sistematicamente apesar da questão dizer explicitamente "dar impulso".

Tabela 3 - Impulso dado ao alvo.

sit.1 $\begin{cases} M \rightarrow G \\ M \rightarrow M \end{cases}$	sit.2 $\begin{cases} M \rightarrow P \\ M \rightarrow M \end{cases}$	sit.3 $\begin{cases} G \rightarrow P \\ P \rightarrow G \end{cases}$	sit.4 $\begin{cases} G \rightarrow P \\ M \rightarrow M \end{cases}$	sit.5 $\begin{cases} P \rightarrow G \\ M \rightarrow M \end{cases}$
G > M (6)	P > M 2	P > G 49	P > M 49	G > M 0
G = M 46	P = M 45	P = G (3)	P = M 1	G = M 1
G < M 4	P < M (8)	P < G 3	P < M (5)	G < M (55)
n.r -	n.r 1	n.r 1	n.r 1	n.r -

G > M significa "impulso transferido" à G é maior do que o transferido a M.

Somente 1 estudante respondeu coerentemente com o modelo newtoniano em todas as questões e situações.

A drástica redução do número de respostas corretas a Q4 deixa uma certa perplexidade: como é possível que quase 40% dos estudantes consiga prever o movimento da bola incidente e do alvo e não consiga prever o impulso (ou o momento) transferido? Que tipo de modelo é usado para prever corretamente o comportamento da bola incidente e do alvo? Como é possível raciocinar corretamente quando se trata da energia e não com o momento linear?

As respostas a estas dúvidas serão pesquisadas com a análise e articulação das justificativas dadas as questões.

COLISÃO MÚLTIPLA

Os resultados gerais para todas as questões estão na tabela 4.

Questão 1. A tabela 4 contém as porcentagens de respostas corretas. Os critérios encontrados para interpretar as respostas sobre colisão simples aplicam-se também aqui (massa do alvo ou massa da bola incidente). Entretanto uma certa quantidade de respostas às situações 2 e 4 parecem sugerir que a massa do alvo composto é o fator importante. Nas situações 2 e 5 encontram-se respostas que não preveem movimento para o alvo.

Verifica-se também que não existem diferenças significativas entre as respostas dos estudantes que já haviam resolvido o problema sobre colisões simples (29) e as dos novos (30).

Somente 14% dos entrevistados resolveram corretamente a Q1 para todas as situações apresentadas e eram muitos os casos em que se podia perceber a presença de critérios conflitantes. Isto já mostra que, mesmo para uma análise fenomenológica, o nível de dificuldade é maior do que para colisões simples.

Questão 2. Os resultados "newtonianos" da tabela 4 referentes ao movimento da bola incidente são semelhantes aos que se encontraram para a colisão simples. Entretanto os tipos de movimento previstos para a bola incidente têm distribuição diferente com se pode ver na tabela 5; a continuidade do movimento da bola para a frente ou para trás é mais facilmente prevista do que a sua parada e esta tendência é mais acentuada entre os 30 estudantes novos que não haviam trabalhado com a colisão simples. Pode-se considerar que o fator responsável por esta mudança é a presença da bola externa encostada na intermediária o que complica a interação da bola incidente.

Tabela 4 - Resultados gerais para colisão múltipla.

	1- $G_1 \rightarrow G_2M$ $G_3 \rightarrow G_4P$	2- $P_1 \rightarrow GM_1$ $P_2 \rightarrow MM_2$	3- $M \rightarrow M_1P_1$ $G \rightarrow M_2P_2$	4- $M_1 \rightarrow GP$ $M_2 \rightarrow MM$	5- $P_1 \rightarrow MG$ $P_2 \rightarrow GM$
Q1. ALCANCE DA BOLA EXTERNA	$P > M$ 88%	$M_1 < M_2$ 63%	$P_1 < P_2$ 85%	$P > M$ 41%	$M > G$ 62%
Q2. MOVIMENTO DA BOLA INCIDENTE	G_1 para 58% G_3 para 53%	P_1 volta 68% P_2 volta 66%	M para 53% G cont. 81%	M_1 volta 64% M_2 para 68%	P_1 volta 66% P_2 volta 68%
MOVIMENTO DA BOLA INTERMEDIÁRIO	G_2 cont. 78% G_4 cont. 81%	G cont. 68% M para 32%	M_2 cont. 81% M_3 cont. 92%	G cont. 71% M para 61%	M volta 14% G cont. 69%
MOVIMENTO SOLIDÁRIO DO ALVO	GM 17% GP 19%	GM 17% MM 39%	MP_1 25% MP_2 29%	GP 20% MM 22%	MG 44% GM 19%
Q3. ENERGIA DA BOLA EXTERNA	$P < M$ 17%	$M_1 < M_2$ 63%	$P_1 < P_2$ 81%	$P < M$ 59%	$M < G$ 27%
Q4. PERDA DE ENERGIA DA INCIDENTE	igual 47%	$P_1 < P_2$ 42%	$M < G$ 47%	$M_1 < M_2$ 42%	$P_1 > P_2$ 8%
EN. PERDIDA \neq TRANSFERIDA AO ALVO	12%	14%	17%	12%	3%
Q5. IMPULSO TRANSFERIDO AO ALVO TOTAL	igual 64%	$P_2 < P_1$ 22%	$M < G$ 80%	$M_2 < M_1$ 22%	$P_1 < P_2$ 14%

Tabela 5 - Movimento das bolas incidentes na colisão com diferentes intermediárias, em qualquer situação.

	P → G	P → M	M → G	M → M	G → G	G → M
continua	6	9	4	14	19	48
para	30	30	17	71	65	10
volta	81	78	38	33	32	1
n.r	1	1	-	-	2	-

A idéia de que o alvo total é significativo no movimento da bola incidente aparece nas situações em que a massa total do alvo é grande e a tendência dos estudantes é dizer que a bola incidente para ou volta para trás. Por exemplo, nas situações 1 e 3, respectivamente 27% e 34% afirmam que a bola incidente volta; na situação 3 (G → MP), 17% afirmam que ela para.

Essa idéia aparece também na tabela 5 onde o índice de acertos é maior nos casos em que há volta para trás.

Apesar da quantidade de respostas compatíveis com a mecânica newtoniana ser semelhante a da colisão simples, o número de estudantes que responderam todas as situações de modo sistemático é bem menor, assim como também para os que preveem a parada da bola.

- 13 estudantes parecem utilizar o modelo newtoniano;
- 7 preveem a parada total em qualquer situação;
- 3 preveem a continuação do movimento sempre para frente ou para trás.

Os resultados da tabela 4 para a bola intermediária mostram tendência a prever corretamente o movimento para a frente. A previsão de que

ela pare tem ocorrência baixa a não ser no caso em que M colide com o alvo MM que é bastante conhecido experimentalmente. A previsão de que ela volte para trás é menor ainda.

Na entrevista foi apresentada uma pergunta adicional sobre a possibilidade da bola intermediária se deslocar junto com a bola externa no movimento após a colisão. Vários estudantes responderam que as duas continuavam juntas numa espécie de arrastamento, como indicado na tabela 4 (movimento solidário).

O número de estudantes que responderam sistematicamente sobre o movimento da bola intermediária em todas as situações está assim distribuído:

- 5 estudantes parecem utilizar o modelo newtoniano;
- 17 preveem sempre movimento para a frente
- 14 preveem sempre a parada da bola.

Questão 3. Os resultados da tabela 4 mostram índices de acertos extremamente variados. Para a situação 1, pode-se considerar que o modelo utilizado se baseia na menor massa e maior velocidade do alvo e a maior massa da bola incidente. Acrescente-se à tabela a informação de que 51% dos estudantes atribuíram maior energia à bola externa P na situação 1.

Se considerarmos as situações com bolas incidentes iguais (situações 1, 2, 4 e 5) as respostas sistemáticas não são muitas: 10% apontam energias iguais, 7% energias inversamente proporcionais às massas externas, 4% energias inversamente proporcionais às massas totais dos alvos e 5% utilizam critérios newtonianos. A grande maioria dos estudantes, portanto, usou diferentes critérios, dependendo da situação apresentada.

Ao lado disso, fazendo-se uma correlação entre as respostas dadas à Q1 e Q3, percebe-se um critério importante: terá energia maior a bola externa que tiver maior alcance (35%). Evidentemente esta explicação pode ser invertida -

alcance maior para bola mais energética - pois não representa uma explicação das variáveis que determinam a transferência de energia para a bola externa.

Questão 4. Os resultados da tabela 4 mostram que o índice de acertos é semelhante para as quatro primeiras situações, caindo bastante na situação 5. Neste último caso 80% dos estudantes afirmam que as perdas de energias são iguais. Isto pode ser motivado por um critério duplo que leva em conta a massa da bola incidente (igual) e a massa total do alvo; um ou outro desses fatores explica a maioria das respostas na situação 5.

Numa questão suplementar durante a entrevista, um número significativo de estudantes (chegou a 17% para a situação 3) afirmou que a perda de energia da bola incidente é diferente da energia transferida para o alvo total.

As respostas mostram em geral critérios conflitantes; é interessante notar os índices baixos para os vários tipos de respostas dadas sistematicamente

- 1 coerente com o modelo "newtoniano";
- 14 perdas de energia iguais;
- 8 perda proporcional à massa do alvo;
- 8 perda inversamente proporcional à massa do alvo;
- 3 perda proporcional à massa intermediária;
- 4 perda inversamente proporcional à massa intermediária.

Questão 5. Os resultados apresentados na tabela 4 mostram-se complexos. O critério da dependência com a massa incidente explica os resultados das situações 3 e 5; acrescenta-se que nesta última 83% dos estudantes responderam que a transferência de impulso era igual para as duas. Nas demais situações, além deste, parece também haver a idéia de uma dependência direta ou inversa com a massa total do alvo.

A quantidade de respostas dadas sistematicamente está assim distribuída:

- 4 com critérios "newtonianos";
- 5 proporcional a massa total do alvo;
- 5 inversamente proporcional a massa total do alvo;
- 25 proporcional a massa da incidente.

O problema sobre colisão múltipla parece constituir-se num abrandamento da idéia da dependência direta entre o impulso transferido e a massa incidente.

É fácil perceber que os índices de "acerto" mais baixos encontram-se nas situações 2, 4 e 5, nas quais a transferência de energia para o alvo total difere da transferência de momento.

AS JUSTIFICATIVAS DOS ESTUDANTES

A análise dos resultados quantitativos oferece uma idéia da percentagem de alunos que respondem de acordo com o modelo "newtoniano", e a distribuição das respostas aponta para a presença de critérios em conflito. Uma análise mais apurada poderia certamente ser obtida através das correlações que poderiam sugerir padrões de respostas. Acreditamos, no entanto, que ao invés de refinar a análise quantitativa, será mais interessante passar a análise qualitativa das justificativas, não somente porque desta maneira será possível encontrar as idéias espontâneas expressas mais claramente, mas também porque será mais fácil construir modelos de concepções sobre choques e transferência de movimento.

COLISÃO SIMPLES

Na pergunta Q1 sobre o alcance das bolas alvo, a justificativa dominante é que a bola mais leve terá um alcance maior por ter menor inércia, menor peso, e conseqüentemente, maior velocidade, dentro do esquema da conservação da energia e/ou da quantidade de movimento.

"Na figura 2, P1 vai mais longe pois fornece menor resistência a M1 e sai com maior velocidade. Na figura 3 além da maior inércia de P2 há também a maior força aplicada por G1."

As poucas vozes discordantes utilizam diretamente a transferência de energia como critério para justificar os alcances dos alvos, sobretudo na situação suplementar.

"Na figura 1, G1 e M3 vão igualmente longe pois tem o mesmo momento e energia."

Na Q2, as justificativas não "newtonianas" dominantes se dividem entre a resistência e/ou a reação da bola alvo e a transmissão total do movimento.

"Na figura 5, P1 volta pela reação da bola alvo G1; analogamente M1 que bate em M2."

"Na figura 3, G1 bate em P2 e continua, ao passo que P1 bate em G2 e pára: quando a bola incidente tem massa maior vence a resistência, quando tem massa menor ou igual não consegue e pára."

"Na figura 4, P1 bate em G2 e volta, pois quase não consegue empurrá-la e é como uma parede elástica; nos outros casos, a bola incidente pára e transfere tudo para o alvo."

"Na figura 3, G2 não sai do lugar e P1 bate e volta, pois é bem mais leve."

Resumidamente as idéias não "newtonianas" mais significativas utilizadas nas justificativas a Q1 e Q2 são:

- A conservação da quantidade de movimento e da energia significa igual transferência de quantidade de movimento e energia (mesmo em choques com bolas diferentes).
- A quantidade de movimento é escalar, análoga à energia.
- Há a ligação direta entre alcance das bolas e transferência de momento e/ou energia.
 - Colisão elástica central correspondente a transferência total de energia e/ou momento.
 - Energia, momento, força e movimento transferem-se da mesma forma.
 - Há dificuldades de empurrar um alvo grande quando o incidente é muito menor.
 - A reação da bola alvo depende principalmente da massa do alvo.

De modo geral aparecem duas idéias competitivas; quando a diferença de massa entre bola incidente e alvo é grande, prevalece a idéia de resistência ou de reação, quando a diferença de massa é menor, prevalece a idéia de transferência total.

A grande maioria das respostas sobre energia (Q3) podem ser divididas em dois grupos. O primeiro é o das respostas dadas a partir da análise do movimento da bola incidente e envolve respostas "newtonianas" ou com transferência total; o segundo é o das respostas que focalizam o alvo e privilegiam sua velocidade ou compensação entre massa e velocidade.

"Na figura 1, M3 tem energia maior, pois recebe toda energia de M2, ao passo que G1 somente recebe uma parte de M1; na figura 3, P2 tem mais energia que G2, pois P1 além de ser bem menor que G1, transfere somente uma parte da sua energia, pois volta."

"Na figura 1, G1 e M3 têm a mesma energia, pois as bolas incidentes transferem tudo; na figura 4, P1 tem mais energia que M2 pois a transferência é total e G1 é maior que M1."

"P1 e M2 na figura 4, têm a mesma energia, pois suas massas e velocidades se compensam; na figura 3, também P2 e G1 tem a mesma energia, pois a situação é simétrica, temos G1 mais lento e mais pesado, e P1 mais leve e mais veloz."

Finalmente, algumas respostas tentam utilizar a análise do comportamento da bola incidente e do alvo, sem conseguir um critério satisfatório.

"Na figura 1, M3 tem mais energia que G1, pois ambos recebem toda a energia de M1 e M2, mas G1 tendo maior massa tem maior movimento".

Nas justificativas das respostas à Q4, a idéia dominante é a do impulso transferido proporcionalmente à massa da bola incidente.

"M1 e M2 têm mesma massa e aplicam a mesma força nos alvos, na figura 1 e 2; portanto, lhes fornecem o mesmo impulso."

"Na figura 3, G1 vai dar um impulso maior em P2, pois tem mais Q.M. e transfere tudo."

"Na figura 1, M1 e M2 vão dar o mesmo impulso em G1 e M3, pois têm mesma massa e transferem a mesma energia."

Mesmo quem consegue analisar corretamente as situações 1 e 2, se engana nas restantes.

"Na figura 1, M1 vai voltar, e, portanto, vai dar um impulso maior em G1, e, na figura 2, vai continuar e dar um impulso menor em P1; na figura 4, G1, apesar de continuar, vai dar um impulso maior em P1, pois sua massa é o dobro de M1, analogamente à figura 3, onde a massa de G1 é quatro vezes a de P1."

COLISÃO MÚLTIPLA

Nas respostas à Q1 sobre alcance das bolas externas, vários tipos de justificativas se destacam.

O primeiro faz referência às massas das bolas incidentes, quando o alvo é igual (situação 3) ou é considerado igual (situação 5, às vezes 2).

"Na figura 3, P2 vai mais longe, pois G1 tem mais Q.M. e transfere mais, sendo o alvo idêntico."

"Na figura 2, M1 e M2 percorrem mesma distância, pois recebem o mesmo choque de P1 e P2 e têm as mesma massa."

"Na figura 5, G1 e M2 vão iguais, pois M1 e G1 vão juntos, G2 e M2 também e tem o mesmo momento transferido, pois as bolas são iguais."

O segundo tipo de justificativa faz referência ao processo de transferência.

"Na figura 3, P1 vai mais longe pois M1 transfere mais Q.M. para o alvo; de fato, ele volta e G1 continua."

"Na figura 3, P1 vai mais longe pois M1 transfere toda a sua Q.M. e G1 não."

"Na figura 2, M2 vai mais longe pois G1 não transfere quase energia para M1."

"Na figura 2, M1 vai mais longe, pois G1 fica parado e transfere toda a energia para M1".

O terceiro tipo de justificativa faz referência ao alvo e sua massa.

"Na figura 4, M4 vai mais longe, pois o alvo M3-M4 tem massa menor e momento transferido maior."

"Na figura 4, P1 vai mais longe, pois sua massa é menor e sua velocidade maior."

Finalmente, alguma justificativa diferente:

"Na figura 5, M2 vai mais longe pois ele destaca de G2, ao passo que G1 vai para frente junto com M1."

"Na figura 5, G1 e M2 quase não saem do lugar pois os alvos têm a mesma massa, bem maior que a da bola incidente. Na figura 2, M1 e M2 não saem do lugar, pois P1 e P2 batem e voltam sem conseguir empurrar os alvos bem maiores."

Resumindo, as idéias não "newtonianas" mais interessantes encontradas nas respostas a Q1, além do apelo às massas incidentes e do alvo são as seguintes:

- O alvo total é significativo para a transferência de energia e/ou momento.
- O alvo total se mantém solidário.
- A bola intermediária comporta-se como filtro opaco ou transparente, para a transferência de energia.
- O choque pode ter eficácia nula (ou quase) quando o alvo for bem maior.
- O alcance depende da energia do alvo e é proporcional a ela.

A Q2 refere-se ao comportamento das bolas incidentes e intermediárias após o choque.

Quanto às bolas intermediárias, as representações não são muitas. No caso em que elas continuam para a frente, podem ir junto com as bolas externas e, às vezes, com velocidade menor.

"Na figura 1, G2 e G4 continuam junto com M1 e P1 recebendo toda a Q.M., de G1 e G3; na figura 3, M2 e M3 continuam junto com P1 e P2."

"Na figura 1, G2 e G4 vão para frente um pouco, sendo que M1 e P1 espirram; analogamente na figura 2, G1 anda um pouco e M3 anda mais que G1, pois é bem mais leve."

"Na figura 1, G2 e G4 vão para frente com velocidade diferente de M1 e P1, que são menores; na figura 2, G1 e M3 vão para frente, mas G1 com velocidade menor que M1, e M3 junto com M2, pois tem mesma velocidade; na figura 5, M1 e G1 andam juntos, ao passo que M2 vai com velocidade maior que G2, pois tem massa menor."

Quando as bolas intermediárias param, as razões podem ser diferentes:

"Na figura 5, M1 fica quase parado, pois não consegue empurrar G1 ao passo que G2 fica no lugar, transmitindo tudo para M2."

"As bolas intermediárias ficam sempre no lugar, pois transmitem toda a energia das bolas incidentes."

"Nas figuras 2, 4 e 5, quando a bola intermediária é maior que a incidente fica parada e funciona como uma barreira, sendo que as bolas mais externas não saem do lugar."

Naturalmente, aparecem também análises "newtonianas":

"Nas figuras 2 e 4, a bola M3 fica parada, pois bate numa bola do mesmo tamanho; na figura 5, M1 volta para trás, pois choca-se com G1, que é maior."

Quanto ao comportamento das bolas incidentes, uma idéia nova aparece no choque múltiplo: "arrastamento" do alvo.

"Na figura 1, G2 e G4 vão juntos com G1 e G3 e param juntos, sendo que P1 vai mais longe, pois tem menos inércia; na figura 2, P1 bate e para junto com G1, mas P2 anda pouco junto com M3 e M2 e as três param juntas; na figura 3, M1 e G1 empurram os respectivos alvos M2-P1 e M3-P2."

Mas aparecem também idéias antigas, como a da parada total sistemática:

"G1 e G3 na figura 1 param, pois transmitem toda sua energia sendo um choque elástico; analogamente, P1 e P2 param na figura 2 e 5."

Outra idéia é que tudo depende do alvo total:

"Na figura 1, G1 e G3 batem e voltam um pouco, pois sua massa é menor que o conjunto alvo; na figura 3, G1 bate e continua, pois empurra o conjunto M3-P2 para frente, sendo que sua massa é maior".

Também as idéias "newtonianas" estão presentes:

"Na figura 1, G1 e G3 batem e param, pois são iguais a G2 e G4; na figura 3, M1 bate e para e G1 bate e continua, pois são respectivamente iguais e maiores que M2 e M3."

Encontramos em seguida, a idéia de que as bolas incidentes sempre continuam:

"G1 e G3, na figura 1, batem, continuam um pouco e param; na figura 2, P1 e P2 continuam um pouco e param, pois transferem uma parte de sua energia."

Finalmente, algum esquema não facilmente interpretável:

"Na figura 2, P1 bate e volta, pois G1 é muito maior, mas P2 bate e continua, pois M3 não é muito maior; na figura 5, P1 bate e continua e P2 bate e volta; na figura 4, M1 colide e continua para frente e na figura 3, G1 também; nas figuras 3 e 4, M1 e M2 param, pois seu alvo tem a mesma massa."

Resumindo as idéias espontâneas encontradas na Q2:

- As bolas intermediárias como alvo único junto com as bolas externas, com as quais continuam para a frente ou param.
- As bolas intermediárias como transmissores de toda a energia recebida.
- As bolas intermediárias como barreira para a transmissão da energia incidente.
- O arrastamento da bola intermediária junto com a bola incidente e, às vezes, a bola externa.
- A dependência entre o comportamento da bola incidente, após o choque, e o alvo total.
- A idéia de que a volta da bola incidente se dá somente quando o alvo é muito maior.

A Q3 refere-se à energia da bola externa, após o choque; as justificativas podem ser divididas em dois tipos.

Temos as que apontam para as características das próprias bolas externas, por exemplo, velocidade e massa, como no caso do choque simples.

"Na figura 1, M1 tem mais energia, pois sua massa é maior que a de P1 e sua velocidade um pouco menor; na figura 2, M2 tem mais energia, pois tem mais velocidade; na figura 4, P1 tem mais energia, pois sua velocidade é bem maior que a de M4."

"Nas figuras 1, 4 e 5 as bolas externas têm a mesma energia, pois velocidade e massa se compensam."

"Nas figuras 1; 4 e 5 as bolas P1 e M2 têm mais energia, pois têm massa menor e velocidade maior (energia é proporcional a v^2)."

"Nas figuras 2 e 5, as bolas externas têm mesma energia (nula), pois ficam paradas."

Temos também as que apelam para a interação com a bola incidente ou a intermediária:

"Na figura 1, M1 e P1 têm a mesma energia por conservação da energia inicial: na figura 2, M1 tem mais energia, pois não divide com G1, que fica parada, ao passo que M2 e M3 saem andando."

"Na figura 1, M1 tem mais energia, pois o choque entre G2 e M1 transmite mais energia; na figura 2, M2 tem mais energia, pois P1 volta mais e G1 e M3 ficam parados somente transmitindo o choque; na figura 3, P2 tem mais energia, pois G1 transmite mais sendo maior e tendo mais energia; na figura 4, M4 tem mais energia, pois recebe toda a energia de M2."

"Nas figuras 2, 4 e 5 as bolas intermediárias grandes absorvem mais energia que as médias e, conseqüentemente, as correspondentes bolas externas têm menos energia.

A Q4 refere-se à perda de energia da bola incidente com o choque. A primeira grande distinção nas respostas é entre quem identifica a perda da energia incidente com a transferência da mesma para o alvo total, e os que diferenciam os dois processos.

Vejam os este último caso:

"Na figura 2, P1 perde mais energia que P2, pois a massa a ser deslocada por ela é maior; no entanto, elas fornecem a mesma energia para o alvo, pois as massas incidentes são as mesmas. Na figura 3, G1 fornece mais energia pois tem mais energia mas sua perda é igual a M1, pois o alvo é o mesmo...; na figura 1, G1 e G3 perdem e transferem a mesma energia pois as bolas incidentes são iguais e as intermediárias também."

"Na figura 1, G1 perde mais energia, pois seu alvo total é maior e transfere a mesma energia que G3, pois tem a mesma energia; na figura 5, as bolas incidentes perdem a mesma energia e transferem a mesma energia pois os alvos são iguais e as massas incidentes também."

"Na figura 1, G1 perde mais energia, pois o alvo é maior e a Q.M. se conserva; contudo G3 transmite mais, pois seu alvo é menor. Na figura 2, P1 perde mais, pois o alvo é maior e P2 transmite mais pois seu alvo total é menor; na figura 5, P1 e P2 perdem e transmitem igual, pois o alvo é o mesmo e a conservação da Q.M. é a mesma."

"Na figura 3, M1 perde mais energia, pois seu alvo é relativamente maior, G1 transmite mais, pois passa tudo que é possível e continua andando; na figura 4, M1 perde mais, pois seu alvo é relativamente maior, M2 transmite mais, pois passa o possível e continua andando; analogamente na figura 1, G1 perde mais e G3 transmite mais energia.

Para os que identificam perda de energia da bola incidente com transferência de energia para o alvo, as justificativas variam.

"Na figura 1, G3 perde mais energia, pois seu alvo é menor e pode transferir mais; na figura 2, P2 perde mais, pois P1 volta com mais velocidade sendo seu alvo maior; na figura 4, M2 perde mais energia, pois para e transfere tudo; na figura 5, P1 e P2 perdem igual energia, pois o alvo é o mesmo."

"Na figura 1, G3 perde mais, pois transfere mais para o alvo total que é mais semelhante a ele mesmo; na figura 2, P2 perde mais, pois o alvo total tem massa mais semelhante; na figura 5, P1 e P2 perdem igual energia, pois o alvo é o mesmo."

"Nas figuras 1, 2 e 4 as bolas incidentes G1, P1 e M1 perdem mais energias, pois seus respectivos alvos totais são menores; na figura 5, P1 e P2 perdem igual pois o alvo é o mesmo."

"Nas figuras 1, 2, 4 e 5 as bolas incidentes perdem a mesma energia, pois tem mesma massa e param; na figura 3, G1 perde mais, pois tem massa maior."

"Nas figuras 2 e 5, as bolas incidentes não perdem energia, pois não conseguem movimentar o alvo."

Raramente encontram-se respostas totalmente "newtonianas".

"Na figura 1, G1 e G3 perdem igual pois param e transferem tudo; na figura 2, P2 perde mais energia, pois bate num alvo menor e volta com menor velocidade; na figura 3, G1 perde mais, pois tem massa maior e o alvo é o mesmo; na figura 4, M2 perde mais pois para; na figura 5, P1 perde mais, pois bate numa massa menor."

Resumindo as idéias mais significativas encontradas nas respostas a Q3 e Q4 temos:

- A avaliação da energia da bola externa a partir da composição de sua massa e velocidade e eventuais compensações.
- A ligação direta entre energia da bola externa e energia da bola incidente.
- A função de filtro da bola intermediária que absorve ou transmite totalmente energia.
- A diferenciação entre perda de energia da bola incidente e transmissão de energia para o alvo.
- A proporcionalidade entre perda de energia e massa do alvo, total ou parcial.
- A proporcionalidade direta ou inversa entre massa do alvo e transmissão de energia.
- A proporcionalidade direta entre perda de energia e massa da bola incidente.
- A ineficiência de alguns choques nos quais a bola incidente não consegue transferir energia.

Nas justificativas a Q5, a idéia intuitiva da proporcionalidade direta entre massa da bola incidente e transferência de impulso para o alvo ainda é dominante, analogamente ao caso do choque simples.

"Nas figuras 1, 2, 4 e 5 as duas bolas incidentes dão o mesmo impulso para o alvo, pois têm a mesma massa e saem da mesma altura; na figura 3, G1 dá um impulso maior, pois tem massa maior."

"Nas figuras 4 e 5 as duas bolas dão impulsos iguais, pois aplicam a mesma força e têm o mesmo tempo de contato."

"nas figuras 1, 2 e 5 as bolas incidentes aplicam o mesmo impulso pois transferem a mesma energia."

Outras idéias, já encontradas nas justificativas sobre energia, referem-se a propriedades do alvo.

"Nas figuras 2, 4 e 5 as bolas incidentes dão o mesmo impulso pois existe uma compensação entre massa e velocidade do alvo."

"Nas figuras 1, 2 e 4, respectivamente, G3, P2 e M2 dão mais impulso, pois seu alvo total tem massa maior."

"...(idem) pois conseguem movimentar o alvo que tem massa menor."

"Nas figuras 2, 4 e 5 respectivamente, P2, M2 e P1 dão um impulso maior, pois a massa (intermediária) a ser deslocada é menor."

A consideração oposta também é utilizada.

"Nas figuras 1, 2 e 4, respectivamente, G1, P1 e M1 dão um impulso maior pois o alvo total tem massa maior e a bola incidente volta com maior velocidade: na figura 5 o impulso transferido é o mesmo."

"...(idem) pois fazem mais força para tirar a inércia do sistema total."

Finalmente, uma resposta "newtoniana":

"Nas figuras 2, 4 e 5 respectivamente, P1, M1 e P2 dão mais impulso, pois seu alvo (intermediário) é maior e voltam com mais velocidade."

Aqui, as idéias interessantes são:

- A proporcionalidade direta entre massa incidente e impulso fornecido ao alvo.
- A semelhança no mecanismo de transmissão de impulso e de energia: transmissão maior quando o alvo total ou intermediário é menor e mais fácil de deslocar, ou transmissão maior quando o alvo total ou intermediário é maior e a bola incidente tem que fazer mais força para deslocá-lo.

OS MODELOS ESPONTÂNEOS

As justificativas das previsões elaboradas pelos alunos, em grande parte, confirmam e detalham as idéias levantadas mediante análises quantitativas, permitindo uma interpretação global mediante vários modelos de interação.

Na colisão simples, as idéias espontâneas dos estudantes podem ser articuladas em dois modelos distintos, que em vários casos podem aparecer simultaneamente.

De acordo com o primeiro modelo, que qualificaremos de "enfoque de transmissão", a bola incidente, ao descer do plano inclinado, adquire e armazena movimento, na forma de "energia" e/ou "quantidade de movimento"; com o choque, a bola incidente "transmite" total ou parcialmente sua "energia" para o alvo. Normalmente (sempre que a bola incidente e alvo não forem muito diferentes) a transmissão é total: a bola incidente pára e o alvo adquire toda a energia/quantidade de movimento da bola incidente. conseqüentemente, bolas incidentes iguais transferem a mesma energia e dão o mesmo impulso para o alvo, mesmo que ele seja diferente. Este terá velocidade maior ou menor, dependendo de sua massa. Finalmente, terá alcance maior a bola de menor massa ou de maior energia.

Nesta visão totalmente escalar das quantidades físicas envolvida numa colisão, o ponto essencial é que a quantidade de movimento "passa" de uma bola para outra num esquema de conservação.

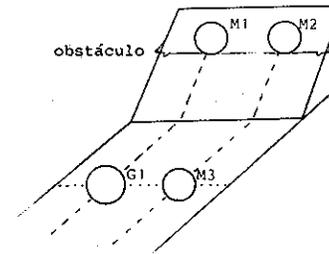
De acordo com o segundo modelo, que qualificaremos de "enfoque de produção", a bola incidente, ao descer o plano inclinado, adquire movimento e portanto "força de impacto", que evidentemente depende da sua massa; colidir com o alvo parado, dá-lhe um impulso para frente e ele saía com velocidade tanto maior quanto mais leve for. O movimento da bola incidente, após colisão, dependerá totalmente da bola alvo e da resistência por ela oferecida. Se o alvo for menor, não conseguirá frear a bola incidente; se o alvo for igual, a bola incidente será totalmente freada; se o alvo for maior, a bola incidente ou será freada totalmente ou mesmo "empurrada" para trás, num esquema de reação que tem alguma semelhança com o princípio de ação e reação.

Neste segundo modelo, a idéia básica é a "força ativa" feita pela bola incidente e a "resistência" ou "reação", em sentido contrário, da bola alvo. A única diferença com o esquema newtoniano é que a ação e reação não estão ligadas por um princípio de conservação. A ação depende da bola incidente e será tanto maior quanto maior for sua massa; analogamente, a reação. No caso de alvo maior, a reação será maior do que a ação e conseguirá empurrar a bola incidente para trás; em caso contrário, conseguirá, no máximo, pará-la.

Cada um dos enfoques encontra dificuldades em explicar a fenomenologia. O modelo de transmissão não explica muito a volta para trás da bola incidente, o impulso dado ao alvo, e também o fato da quantidade de movimento do alvo ser maior do que a da bola incidente.

O modelo de "produção" tem dificuldades em prever a energia do alvo a partir do movimento da bola incidente e também seu impulso, pois não existe uma ligação entre a ação da bola incidente e a reação do alvo.

É interessante notar que é bastante comum encontrar o modelo de "transmissão" puro, mas não é comum encontrar o modelo de "produção" puro; a grande maioria dos estudantes utiliza alguma forma de conservação da energia e/ou de quantidade de movimento; se excluirmos as (raras) respostas totalmente newtonianas, parece que existe um grande grupo que utiliza uma combinação dos modelos alternativos de "transmissão" e "produção". Um exemplo típico é o seguinte:



"No choque entre duas bolas médias (M1 e M2) respectivamente com uma grande (G1) e uma média (M3), esta última vai mais longe que G1, pois tem maior velocidade e energia; de fato, M1, ao se chocar com G1, que é maior, será empurrada para trás com força maior do que a que ela exerce sobre G1. G1 e M3 receberão o mesmo impulso, pois as bolas incidentes são iguais, mas M3, sendo mais leve, conseguirá maior velocidade e energia. De fato, M1, ao voltar, não passará toda sua energia para G1, ao passo que M2, ao bater numa igual, passará toda a sua energia e parará." (Figura 1).

A impressão que se tem ao analisar este tipo de respostas, é que o aluno conseguiu assimilar a idéia de conservação da energia estudada na escola, interpretando-a de acordo com o modelo de "transmissão"; a conservação da quantidade de movimento adquiriu um caráter escalar, e o princípio da ação e reação, numa concepção "alternativa" explica o comportamento da bola incidente frente ao alvo.

As idéias dos estudantes levantadas nas questões fenomenológicas sobre colisões múltiplas serão articuladas em três modelos assim chamados: "colisão independente", focalizando a interação independente entre bola incidente e intermediária e a interação entre esta última e a externa; colisão global, focalizando o choque da bola incidente com o alvo total; colisão com acoplamento, considerando a bola intermediária como mera transmissora, entre a bola incidente e o alvo.

Dentro do modelo que considera o alvo total existem duas possibilidades: o alvo continua como se fosse uma única bola, praticamente sem interação entre as componentes, ou se separa e as duas bolas adquirem velocidades próprias. A colisão da bola incidente com o alvo total é regulado pelos mesmos

mecanismos do choque simples, assim como a colisão entre a bola intermediária e a bola externa, no modelo de interações independentes.

No modelo de "transmissão" pura menos frequente, admite-se a possibilidade de uma transmissão em repouso (a bola intermediária fica parada, a incidente pára ou volta e a bola externa fica aparada ou sai com velocidade) e de uma transmissão em movimento (a bola intermediária é simplesmente "arrastada" pela bola incidente e não se destaca dela).

As idéias sobre energia e impulso, sobretudo as que sustentam a proporcionalidade entre perda de energia com aumento da massa do alvo e a diferenciação entre perda de energia e sua transmissão (idéias incompatíveis com a colisão elástica clássica), sugerem a idéia de uma componente inelástica em que a velocidade da bola incidente após o choque será tanto menor quanto maior for o obstáculo. Ao contrário, considerar a transmissão da energia e do impulso dependente diretamente da massa da bola incidente ou inversamente da massa do alvo, sugere a idéia de energia e impulso como "movimento", que passa mais facilmente quanto mais leve for o alvo ou quanto "mais força fizer" a bola incidente; esta idéia já se encontra no caso da colisão simples.

Resumindo, então, nossa análise sobre as idéias espontâneas do choque múltiplo entre bolas de bilhar, podemos delinear um quadro com três dimensões ou aspectos fundamentais:

- a) a característica do alvo;
- b) o mecanismo de transferência ou geração de energia e quantidade de movimento;
- c) a elasticidade do processo.

a) O alvo específico pode ser a bola intermediária, a bola externa ou o alvo total: neste último caso, pode ou não haver diferenciação sucessiva entre as bolas.

Quando o alvo for a bola externa ou o conjunto das bolas, aparece o fenômeno novo do "arrastamento".

b) O mecanismo de transferência de energia e/ou de quantidade de movimento é análogo ao caso do choque simples; as duas grandezas podem ou não ser diferenciadas quanto às suas características (escalares ou vetoriais) e o movimento no alvo pode ou não ocorrer.

Quando não há diferenciação entre energia e quantidade de movimento, o processo é concebido como "transmissão" de algo genérico, ligado ao movimento e de natureza escalar: a bola incidente possui esta quantidade e a passa para o alvo. Quando há diferenciação entre energia e impulso, no sentido de que aparecem ações e reações orientadas, não é garantido o uso de um esquema newtoniano: o mais provável é o esquema misto "espontâneo" de "produção" e "transmissão", também encontrado na colisão simples, com as ações diferenciadas das reações.

O aumento da massa do alvo total facilita o aparecimento de uma tendência encontrada também na colisão simples: quando o alvo for bem maior que a bola incidente, esta não consegue transmitir muita energia ou imprimir muito movimento. No caso da colisão múltipla, é possível encontrar casos extremos de eficácia nula, ou seja, de alvos que não se movimentem.

"Produção" e/ou "transmissão" regulam o movimento das bolas intermediária e incidente.

A bola intermediária tende a avançar por causa do impacto que recebe; quando ela servir de transmissora do movimento para a bola externa, pode ficar parada e, dependendo da sua massa, pode absorver ou transmitir totalmente o movimento.

A bola incidente, dependendo da transmissão ou da resistência do alvo com o qual ela colide, poderá avançar, recuar ou parar. A duplicação das

bolas do alvo tem como efeito um aumento significativo da previsão de recuo da bola incidente.

c) A elasticidade do choque, normalmente, é total, o que significa que a perda de energia da bola incidente é exatamente a energia que o alvo recebe; mas não faltam exemplos de elasticidade parcial: situações nas quais a energia transferida para o alvo é diferente da energia perdida pela bola incidente. Não somente os estudantes expressam esta idéia, mas também indicam critérios para as duas: a bola incidente perde tanto mais sua energia quanto maior for o alvo, ao passo que a transferência de energia é proporcional à massa da bola incidente e/ou inversamente dependente da massa do alvo (quanto menor for ele, maior será sua velocidade) ou algumas vezes, sobretudo no esquema de "transmissão", diretamente proporcional à capacidade do alvo de receber essa quantidade (quanto mais semelhante ele for, melhor será a transmissão).

Os modelos e interpretações apresentados até aqui de modo geral dão conta das respostas dos estudantes dadas às questões sobre colisões simples e múltiplas. Entretanto é interessante notar que elas aparecem *especialmente* no caso de colisões múltiplas. É interessante se perguntar a razão desta preferência.

As respostas dos alunos não dão pistas evidentes para isso, mas as impressões gerais surgidas nas entrevistas, sobretudo se articuladas com os resultados de pesquisas análogas com estudantes de segundo grau, nos dão algumas sugestões a respeito.

Em trabalhos recentes sobre idéias espontâneas na transmissão do movimento (Mariani, 1987), as idéias mais fundamentais foram:

a) A existência de modelos de choques do tipo "arrastamento", "produção" e "transmissão" total ou parcial, junto com sua presumível hierarquização em modelos mais primitivos e mais dependentes da escolaridade.

b) A existência de uma "eficácia" reduzida por parte da bola incidente e de uma "elasticidade" incompleta, sobretudo em presença de alvos maiores.

c) A utilização não-conservativa do princípio de ação e reação.

d) A associação entre energia e massa (consideradas como capacidade de armazenamento) e entre energia e movimento (consideradas como entidades substanciais capazes de serem gastas ou transmitidas) (Terrazan, 1985).

A análise das justificativas dos alunos de pós-graduação revela características semelhantes: no entanto, na colisão simples não aparecem algumas idéias mais primitivas como o "arrastamento" e a inelasticidade; também a idéia de "produção" de movimento é quase sempre associada a algum tipo de conservação escalar de energia e/ou quantidade de movimento.

De fato, estas idéias mais primitivas aparecem no choque múltiplo sem que exista uma razão evidente no contexto da situação-problema que explique esse fenômeno.

A impressão geral das entrevistas, confirmada pelo número bem menor de respostas sistematicamente corretas, sugere que a nova situação-problema com choques múltiplos tenha apresentado maiores dificuldades de utilização de esquemas formais: de fato, nenhuma fórmula podia ajudar a localizar o alvo próprio da interação e isso deixava os estudantes mais inseguros e mais permeáveis a sugestões internas de utilização de idéias intuitivas numa espécie de regressão a interpretações mais primitivas. Estas conclusões parecem ser coerentes com as encontradas com alunos de pós-graduação numa pesquisa anterior sobre a velocidade da luz (Villani 1987)*.

Se nossa interpretação for correta, isso significa que os esquemas formais aprendidos na escola têm um território bem definido, onde eles podem exercer seu domínio e desarticular as idéias espontâneas: este território é dado

*Uma análise mais detalhada das semelhanças e analogias entre os resultados globais das duas pesquisas é apresentada num trabalho a ser publicado.

pelas situações-problema enfrentadas e resolvidas na escola, situações nas quais as fórmulas, mais do que os modelos "físicos", são um auxílio eficaz. Apesar de terem sido debeladas firmemente nestes territórios, as idéias intuitivas não parecem ter desaparecido, permanecendo num estado latente, quase endêmico, prontas a reaparecer frente a qualquer deslize ou incerteza do estudante.

APÊNDICE

- PROBLEMAS DE COLISÃO SIMPLES

Nas figuras abaixo você encontrará sempre duas bolas no plano inclinado e duas bolas no plano horizontal. Estas bolas de mesmo material, duro, podem ter três tamanhos: pequeno (P), médio (M) e grande (G). Suponha, por simplicidade, que as bolas pequenas pesem a metade das médias e as médias, metade das grandes. As bolas são identificadas por um número que permite distingui-las (bola G1, bola M2, etc.) entretanto, todas as bolas G são iguais, todas as M também, etc.. As bolas que estão no plano inclinado são abandonadas de uma mesma altura em relação ao plano horizontal e no mesmo instante, pela retirada de um obstáculo.

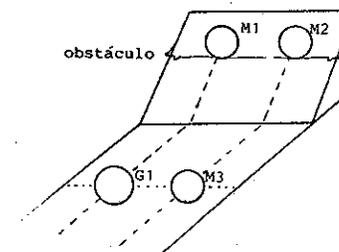
Os tracejados indicam o caminho percorrido por cada bola. O choque entre as bolas é frontal e o movimento das bolas, unidirecional. O plano horizontal está forrado com um pano de feltro, como uma mesa de bilhar.

QUESTÕES

- Q1. G1 vai mais ou menos longe do que M3? Por quê?
- Q2. O que acontece com as bolas M1 e M2 após o encontro com G1 e M3 respectivamente? Por quê?
- Q3. Após o choque, G1 vai ter energia maior ou menor do que M3? Por quê?
- Q4. M1 vai dar maior ou menor impulso em G1 do que o impulso de M2 para M3? Por quê?

SITUAÇÕES:

1	2	3	4	5	extra
M→G	M→P	G→P	G→P	P→G	P→P
M→M	M→M	P→G	M→M	M→M	M→M



- PROBLEMAS DE COLISÃO MÚLTIPLA

Nas figuras abaixo você vai encontrar sempre duas bolas de bilhar no plano inclinado e quatro bolas no plano horizontal. Estas bolas, de mesmo material, podem ter três tamanhos: pequeno (P), médio (M) e grande (G). Suponha, por simplicidade, que a pequena pese a metade da grande. As bolas são identificadas por um número (por exemplo G1, M2, etc.), entretanto, todas as bolas G são iguais, todas as M são iguais, etc.. As bolas que estão no plano inclinado são abandonadas de uma mesma altura em relação ao plano inclinado.

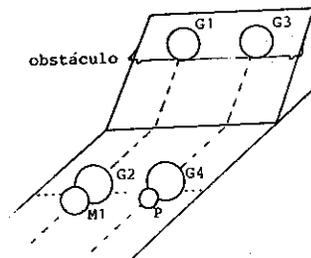
Após adquirirem velocidade na descida, elas se chocam frontalmente com as bolas alvos do plano horizontal. Por simplicidade o movimento das bolas, antes e depois do choque será numa única direção. O plano horizontal está forrado com um pano de feltro, como uma mesa de bilhar.

QUESTÕES

- Q1. Qual das bolas P1 e M1 vai mais longe? Por quê?
- Q2. O que acontece com G1, G2, G3 e G4 após o choque? Por quê?
- Q3. Qual das bolas externas P1 e M1 tem mais energia após o choque? Por quê?
- Q4. Qual das bolas incidentes G1 e G3 perde mais energia com o choque? Por quê?
- Q5. Qual das bolas incidentes G1 e G3 dá um impulso maior para o alvo durante o choque? Por quê?

SITUAÇÕES

1	2	3	4	5
G→GM	P→GM	M→MP	M→GP	P→MG
G→GP	P→MM	G→MP	M→MM	P→GM



BIBLIOGRAFIA CITADA

- Mariani, M.C., *A Evolução das Concepções Espontâneas sobre Colisões*, Dissertação de Mestrado IFUSP-FEUSP, 1987.
- Terrazan, E.A., *A Conceituação Não-Convencional de Energia no Pensamento dos Estudantes*, Dissertação de Mestrado IFUSP-FEUSP, 1985.
- Villani, A., *Conteúdo Científico e Problemática Educacional na Formação do Professor de Ciência, Cap. V - Noções Espontâneas Após a Formação*, Tese de Livre-Docência IFUSP, 1986.
- Villani, A., Pacca, J.L.A., *Student's Spontaneous Ideas About Speed of Light*, *Int. Jour. Sci. Educ.* 9(1) (1987) pp. 55-66.