

Problemas pedagógicos do ensino da Dinâmica - II

MARIA CONSTANÇA BATORÉU PROVIDÊNCIA

Ladeira das Alpenduradas, 38 — Coimbra

É apresentado um estudo das respostas a um inquérito de carácter pedagógico elaborado com a finalidade de dar a conhecer as ideias dos alunos e as dificuldades que mais frequentemente se lhes deparam no estudo das leis da dinâmica (cf. Gazeta de Física 8, 83, Julho 1985). Os conceitos errados ou confusos detectados nas respostas permitem tirar conclusões relativas à abordagem pedagógica mais adequada, sendo preconizados métodos e técnicas susceptíveis de corrigirem as concepções erróneas encontradas.

1. Introdução

Reconhecendo a necessidade de ter em conta, na abordagem do programa de Física, para além do raciocínio lógico do estudante, também os seus conceitos relativos a questões científicas, preconizou-se recentemente [1] o recurso a um inquérito como o meio mais adequado a caracterizar as concepções dos jovens e o significado por eles atribuído aos termos científicos. O texto do inquérito a que o presente trabalho se refere foi publicado na ref. [1]. A metodologia aconselhada na secção «Considerações gerais» daquela referência não foi integralmente seguida em todas as questões. Com efeito, das respostas às duas últimas perguntas não foi elaborado um estudo tão completo como para as restantes, não só a fim de não alongar excessivamente o trabalho, mas também para evitar repetições maçadoras.

2. Análise das respostas, conclusões e implicações pedagógicas

2.1. Primeira questão

2.1.1. Análise das respostas

O objectivo da primeira questão é fazer intervir o princípio de igualdade da acção e reacção — a árvore desempenha o mesmo papel que o segundo cavalo, tão possante como

o primeiro. Pretende-se que o aluno que analisa esta situação conclua ser o papel da árvore idêntico ao do segundo cavalo, uma vez que nem o conjunto árvore-corda-cavalo, nem o conjunto cavalo-corda-cavalo se deslocam. A árvore exerce, pois, sobre a corda uma força igual à que é exercida pelo cavalo que a substitui.

Houve um total de 34 alunos que assinalou a resposta correcta e 62 a incorrecta.

Dos 34 estudantes que marcaram o quadrado correspondente à resposta certa, isto é, «Não», só 29 apresentaram uma justificação e desses apenas 5 o fizeram satisfatoriamente. Portanto, dos 96 alunos que responderam ao Inquérito só 5 deram uma resposta e uma justificação aceitável. Os restantes 91 não possuem uma noção clara de força de reacção.

Vamos transcrever três das fundamentações consideradas correctas:

Não, porque os cavalos tendo a mesma força a corda irá manter-se esticada e um dos cavalos vai fazer de árvore e por isso a força aplicada pela árvore vai ser igual à do cavalo que substitui a árvore.

Não porque se o cavalo não conseguiu partir a corda no primeiro caso, também não consegue partir no segundo caso, visto que a força exercida é a mesma, havendo apenas a mudança do sítio em que a corda está presa.

Porque um dos cavalos exerce uma resistência ao outro. Um deles exerce a resistência que exercia a parede. Por isso acho que não conseguiam partir a corda. Se fossem os dois a puxar a corda, mas ela estivesse presa à parede, aí sim, eles conseguiam parti-la. Assim não, porque um deles exerce sempre uma resistência.

Transcrevemos agora interpretações que achamos de interesse, apesar de não estarem correctas.

A resposta negativa foi justificada por 11 alunos argumentando, essencialmente, que duas forças iguais e opostas se anulam pelo que o seu efeito será necessariamente nulo, não podendo portanto fazer com que a corda se parta:

Porque se os cavalos têm a mesma força e se eles exercem essa força em sentidos opostos vai-se estabelecer um equilíbrio entre as forças que eles exercem, logo não partem a corda.

De acordo com a lógica destas justificações erradas a corda só quebraria se uma das forças fosse maior que a outra! O erro desta interpretação, que revela falta de coordenação entre a teorização e a observação, resulta de ignorarem que o efeito de duas forças de intensidade igual e sentidos opostos só é necessariamente nulo se o ponto de aplicação das referidas forças for o mesmo.

Houve 7 respostas do seguinte teor:

Porque os cavalos a puxar cada um para seu lado enforcam-se um ao outro.

Estas respostas saem fora do contexto da questão e revelam falta de capacidade para analisar a situação em termos físicos. O ensino da Física não poderá ser bem sucedido se os jovens não tiverem sido sensibilizados para os objectivos desta ciência.

Dos 62 alunos que assinalaram o quadrado correspondente à resposta incorrecta, isto é, «Sim», apenas 57 justificaram a escolha efectuada.

Limitamo-nos seguidamente a considerar as justificações que achamos de interesse para o nosso estudo.

Explicações às quais o conceito de força de reacção é alheio são apresentadas em 47 respostas. Destas destacamos três versões:

Porque um cavalo não conseguia partir a corda mas os dois juntos fazem uma força maior.

Porque as forças são contrárias, quando um puxa para a esquerda e outro para a direita as forças são em sentido contrário.

Porque já que havendo uma coisa estática, neste caso a árvore e só havendo uma outra coisa a fazer força que é o cavalo, a corda não parte, é então muito mais lógico que havendo duas forças opostas actuando em sentido contrário a corda se possa partir pois sendo os cavalos fortes e com força há mais possibilidade da corda partir.

Nenhum dos alunos que apresenta um destes três tipos de justificação tem a noção de que a árvore exerce sobre a corda uma força igual à do segundo cavalo. É atribuída a capacidade de exercer força apenas a seres animados ou susceptíveis de causarem a ocorrência de determinados acontecimentos (por exemplo o vento, um tractor, etc.). Alguns alunos consideram que a árvore não tem força, i.e., não pode ser um agente activo que exerce acções. Por conseguinte consideram que a árvore não é susceptível de exercer uma força.

A justificação em três das respostas pressupõe a existência de um fenómeno análogo à fadiga:

Porque à medida que os cavalos vão puxando a corda cada um para seu lado, a corda vai perdendo resistência, e vai acabar por ceder e partir.

A ideia denota um certo espírito de observação mas é ilógica. Porque haveria a corda de perder mais resistência quando é puxada por dois cavalos do que quando é puxada só por um?

2.1.2. Conclusões da análise efectuada

Constata-se que o princípio de igualdade da acção e reacção não é de fácil apreensão. Não é intuitiva a ideia de que ao exercermos uma acção sobre determinado objecto ficamos automaticamente sujeitos da parte desse objecto a uma reacção de intensidade exactamente igual e de sentido oposto.

As respostas à primeira questão mostram que a dificuldade detectada na compreensão desta lei fundamental tem em larga medida a sua origem em noções inadequadas de força. Dum modo geral as justificações apresentadas

revelam que o conceito de força não foi completamente explorado, não conseguindo os alunos aplicá-lo de modo eficiente na interpretação de situações concretas. Não surge espontaneamente a ideia de que duas forças iguais produzem efeitos análogos em condições idênticas. É pois importante clarificar o conceito de força e familiarizar os alunos com as leis da estática como condição prévia para uma compreensão adequada dos princípios da dinâmica.

Notámos serem fundamentalmente de dois tipos distintos as noções erróneas que impossibilitam ou dificultam a apreensão da correcta noção de força.

a) Caracterização da força pelo agente que a exerce e não pelas suas consequências. Ligada a esta falsa concepção surge a incapacidade de reconhecer que as forças possam ter origem em seres inanimados ou em objectos estáticos.

b) Suposição de que é necessariamente nulo o efeito de um sistema de forças com resultante nula.

2.1.3. Implicações pedagógicas

A fim de conscientizar os alunos dos erros que estas concepções encerram preconizamos a realização de experiências simples, adequadas para o efeito.

Exemplo 1

Aplicar uma acção a um dinamómetro e observar a intensidade da força registada. Inverter o dinamómetro aplicando na argola destinada à sustentação do aparelho a mesma força que interveio na experiência anterior e fixando o dinamómetro pelo gancho destinado à aplicação da força que se pretende medir. Sujeitar, finalmente, o dinamómetro a duas forças de intensidades iguais às anteriores mas opostas, aplicadas, respectivamente, na argola e no gancho. O facto de a leitura registada se não alterar mostra que o papel do ponto de sustentação consiste em exercer sobre o dinamómetro uma força de intensidade igual e sentido oposto àquela que está a ser medida. Deve realçar-se que é obviamente não nulo o efeito de duas forças de intensidade igual e

sentidos opostos aplicadas ao dinamómetro visto que a mola deste aparelho sofre uma deformação. Por outro lado o ponto de sustentação exerce efectivamente uma força sobre o dinamómetro, visto que a força registada se anula quando o dinamómetro salta do referido ponto.

Exemplo 2

Esticar um elástico, puxando as extremidades em sentidos opostos com forças de igual intensidade. Mesmo que o centro de massa do elástico se não desloque, este deforma-se e acaba por partir. O resultado de um sistema de forças pode não ser a alteração do estado de movimento dum objecto mas a sua deformação.

2.2. Segunda questão

2.2.1. Análise das respostas

A segunda questão refere-se ao princípio de inércia. Não estando a mala sujeita a qualquer força, tende a manter o seu estado de repouso em relação à Terra, que desempenha o papel de um referencial de inércia (terceira possibilidade oferecida nas respostas).

Houve 11 alunos que escolheram a primeira possibilidade, 47 a segunda, 20 a terceira e 18 a quarta.

TABELA I — Análise das respostas à segunda questão. A percentagem de respostas correctas (terceiro quadrado) foi de 21 %.

Quadrado assinalado	Número de respostas		
	Total	Sem justificação	Justificação invocando noção de inércia
1.º	11	3	—
2.º	47	14	17
3.º	20	6	14
4.º	18	—	9

Primeira possibilidade: A mala cai porque o vento a empurra para trás.

Dos 11 alunos que optaram por esta primeira possibilidade apenas 8 adiantaram uma

justificação, a qual não passa, em geral, de uma repetição da causa ou mecanismo sugerido no texto. Por exemplo:

Porque com a deslocação do automóvel há vento e faz cair a mala.

A escolha efectuada por estes alunos constitui exemplo duma concepção que, como veremos, se manifesta noutras respostas a esta questão, a qual atribui a origem das falsas forças consideradas responsáveis pelo deslizamento da mala sobre o tejadilho à influência da resistência do ar.

Segunda possibilidade: A mala cai porque, no momento do arranque súbito, o seu peso se dirige instantaneamente para trás.

A segunda possibilidade foi escolhida por 47 alunos. Destes, 14 não ofereceram qualquer justificação para a escolha apresentada.

Constatamos com satisfação que a ideia de inércia, entendida como tendência dos corpos para manterem o seu estado de repouso ou movimento uniforme e rectilíneo surge explicitamente nas justificações de 17 estudantes, das quais cito, a título de exemplo, dois extractos:

... porque o arranque súbito faz com que a mala deixe de ter apoio.

A mala tende a manter a sua posição que era estar parada e assim não acompanha o movimento do carro e cai.

Os restantes 16 alunos recorrem à existência de falsas forças denominadas forças de inércia para justificarem a escolha que fizeram. Por exemplo:

Digamos que a maneira como o carro arrancou provocou um impacto na mala que a levou a cair.

... paralelamente ao que acontece a um passageiro dentro de um carro, que demonstra tendência a dirigir-se para trás.

Para estes alunos, o facto de um objecto abandonar subitamente o seu estado de repouso só pode ser explicado pela actuação de uma força adequada, o que é natural.

Assim, o conceito de força de inércia surge espontaneamente porque os jovens, por um

lado não concebem a alteração do estado de repouso de um objecto sem a intervenção de uma força responsável por essa alteração, e, por outro lado, não fazem distinção entre referenciais de inércia, nos quais são válidas as leis de Newton, e referenciais acelerados, nos quais aquelas leis não são aplicáveis.

Terceira possibilidade: A mala cai porque não é puxada e deixa de ter o apoio do tejadilho quando o automóvel arranca.

A terceira possibilidade foi escolhida por 20 alunos, 6 dos quais não apresentaram qualquer justificação para a escolha efectuada.

As justificações apresentadas mostram que o fenómeno de inércia, na parte que se refere à tendência dos corpos para manterem o seu estado de repouso quando não estão sujeitos a forças exteriores, é de apreensão relativamente acessível. No entanto, a referida tendência é, por vezes, associada a um referencial particular, que pode não ser um referencial de inércia, não se dando os jovens conta da arbitrariedade deste pressuposto.

É de 3 o número de alunos que fundamentam a citada propriedade dos corpos relacionando-a com a resistência do ar. Este ponto de vista é exemplificado pela seguinte interpretação:

Como a mala não está agarrada ao carro, quando este arranca, a mala, como não é puxada, fica para trás. Apesar de a mala não estar agarrada, ela ficaria sobre o tejadilho se não houvesse atrito dela com o ar.

Para estes alunos o carro é o «referencial natural» da mala, e se esta não continua em repouso sobre o tejadilho é porque o ar intervem, arrastando-a.

Segue-se uma explicação curiosa, que denota espírito de observação e compreensão do processo físico:

Como o carro arranca muito depressa, a força do carro anula o atrito entre o carro e a mala e portanto a mala não é transportada e fica para trás.

São dignos de registo a expressão «força do carro», que deve significar a aceleração

adquirida pelo carro e a ideia de que o atrito existe mas é insuficiente para segurar a mala.

Quarta possibilidade.

Foi de 18 o número de alunos que optaram por uma explicação diferente das três sugestões propostas na questão. No entanto os argumentos invocados por estes alunos não são de facto novos, pois 6 recorrem à resistência do ar para explicar o fenómeno considerado e 9 acabam por usar a noção de inércia. Aliás, alguns interpretam a inércia como uma consequência da resistência do ar. Eis algumas das justificações apresentadas por este grupo, as quais, por vezes revelam compreensão do processo físico:

... a mala cai devido ao atrito do ar que a deixa no mesmo sítio..

A mala desliza e cai porque deixa de estar sobre o tejadilho devido ao arranque súbito que ele sofre.

... porque quando o carro parte a mala está em repouso.

Observamos que o estado de confusão de espírito de muitos alunos os leva a apresentarem uma justificação correspondente a uma escolha diferente da que fizeram, verificando-se idêntico fenómeno nas restantes questões do Inquérito.

2.2.2. Conclusões e implicações pedagógicas da análise das respostas

1 — A análise das respostas à segunda questão foi muito proveitosa e rica em ensinamentos pedagogicamente úteis pois permitiu caracterizar com bastante rigor o quadro conceptual do aluno médio no contexto de fenómenos de inércia, que estão relacionados com a tendência dos corpos para manterem o seu estado de repouso ou de movimento uniforme rectilíneo.

2 — Verificámos com satisfação que é espontaneamente aceite por muitos estudantes a necessidade de actuação de uma força exterior para que o estado de repouso de um corpo se altere.

3 — Pudemos também constatar que não é feita qualquer distinção entre referenciais de inércia e acelerados. Assim, um elevado número

de respostas baseia-se no pressuposto implícito da existência de um «referencial natural» para cada corpo. Em geral esse será a Terra, mas para a mala que se encontra apoiada no automóvel, é o automóvel. De acordo com a concepção destes jovens, os estados de repouso ou de movimento referem-se a este «referencial natural» e assumem assim um carácter absoluto. Segundo os alunos, o corpo permanece em repouso em relação ao «referencial natural» se é nula a resultante das forças que sobre ele actuam. Quando o «referencial natural» sofre uma alteração súbita do seu estado de movimento, actua sobre o corpo uma «força de impacto» (os alunos usam esta expressão) de sentido oposto ao da variação da velocidade do «referencial natural». Se esta «força de impacto» não for devidamente compensada, altera-se então o estado de repouso do corpo.

4 — A experiência de sensações causadas por acelerações e desacelerações bruscas, trajectos sinuosos, etc., parece explicar o carácter intuitivo que assume o conceito de força de inércia (a tal «força de impacto»).

5 — É curioso notar que muitos alunos explicam a existência de forças de inércia atribuindo-as a um agente adequado que, à falta de melhor candidato, é a resistência do ar. Deve-se expor a inconsistência desta ou de qualquer outra explicação incorrecta, invocando para o efeito, a própria experiência do jovem. (Eliminada a resistência do ar, desaparece o efeito considerado? Se não, será na verdade a resistência do ar a causa desse efeito)?

6 — Visto que os alunos não distinguem facilmente entre referenciais acelerados e referenciais de inércia é importante sensibilizá-los para esta diferença.

7 — Não preconizamos o recurso à noção de força de inércia para descrever o repouso ou o movimento de um corpo em relação a um sistema acelerado. No entanto entendemos que o seu carácter intuitivo não pode ser ignorado nem deve ser iludido. O facto de os estudantes espontaneamente invocarem a existência dessa força deve ser aproveitado para os ajudar a compreender o verdadeiro significado do prin-

cípio de inércia. Com efeito, em face das respostas recolhidas, não parece difícil levá-los a compreenderem que, na verdade, as forças de inércia nada explicam, mas ajudam a distinguir entre referenciais de inércia e referenciais acelerados. Isto porque a função das forças de inércia é precisamente dar origem ao movimento que um corpo (sujeito a forças de resultante nula) deve ter, em relação a um sistema acelerado, para que permaneça em repouso em relação a determinado sistema de inércia.

8 — Assim como se não aprende a nadar por um manual de natação, mas executando na água os movimentos adequados assim também a apreensão do significado dos princípios da Física, em geral, e do princípio de inércia, em particular, exige o recurso a técnicas pedagógicas convenientes. Só assim podemos levar os alunos a aceitarem o facto de as forças de inércia em cuja existência acreditam porque experimentam os seus «efeitos» quando viajam, não constituírem a explicação fundamental dos fenómenos de inércia, mas serem antes uma ilusão.

9 — Não podemos esquecer que o princípio de Galileu se apoia em factos experimentais em geral de carácter não intuitivo, porque são estranhos à experiência do dia a dia. A utilidade da afirmação de que os estados de repouso ou movimento são relativos, não é mera consequência lógica de uma definição matemática abstracta, mas advém de um conteúdo físico preciso, que lhe é conferido por um suporte experimental adequado.

10 — Com vista a corrigir conceitos errados, sugerimos por exemplo, que os estudantes sejam incentivados a reflectirem sobre aquilo a que podemos chamar «Experiências das estações de caminhos-de-ferro», isto é, experiências relativas a comboios que iniciam ou terminam a sua marcha, passageiros que estando em repouso parecem movimentar-se, e vice-versa, etc.. Isso levá-los-á a compreenderem que o movimento é relativo e que a mala desliza sobre o tejadilho para que se não altere o seu estado de repouso em relação à Terra.

Pensamos que será também esclarecedora uma reflexão dos alunos sobre os fenómenos que esperaríamos poder observar numa mesa de bilhar colocada numa carruagem animada de movimento rectilíneo e uniforme, livre de solavancos. Rolarão ainda as bolas de bilhar, nessas circunstâncias, igualmente em todas as direcções e sentidos? O que aconteceria às bolas de bilhar se o comboio acelerasse ou descrevesse uma curva? Qual seria o movimento dessas bolas em relação à Terra?

Como seria descrito por um passageiro estacionado, o movimento de uma mala que desliza quando arranca bruscamente o comboio que a transporta?

Explicar a vantagem de um cinto de segurança.

2.3. Terceira questão

2.3.1. Análise das respostas

Esta questão tem por objectivo exemplificar o significado da segunda lei da dinâmica e, em particular, chamar a atenção dos alunos para o facto de a mesma força produzir menor aceleração no objecto de maior massa, quando aplicada a dois objectos de massas distintas (primeira possibilidade).

Foi de 75 o número de alunos que optaram pela primeira possibilidade, 15 pela segunda, 5 pela terceira, não tendo um aluno respondido a esta questão.

Primeira possibilidade: A operação de travagem necessita de maior distância quando a automotora reboca o atrelado.

Dos 75 alunos que optaram pela primeira possibilidade, 15 não apresentaram justificação.

TABELA II — Análise das respostas à terceira questão. A percentagem das respostas correctas (primeiro quadrado) foi de 78 %.

Quadrado assinalado	Número de respostas	
	Total	Sem justificação
1.º	75	15
2.º	15	—
3.º	5	2
sem resposta	1	—

Fundamentaram a escolha efectuada baseando-se no conceito de massa, 6 alunos. Por exemplo:

Porque a massa total das duas automotoras é o dobro e há só um sistema de travagem, por isso é necessário maior distância para a travagem.

Justificaram a escolha efectuada invocando o peso (entendido como massa) 29 alunos. Este ponto de vista é exemplificado pela seguinte frase:

Porque o peso é maior e a automotora a reboque não trava.

Apresentaram justificação baseada no conceito de quantidade de movimento 21 alunos. Por vezes falam na «força» das automotoras, significando a quantidade de movimento. Seguem-se exemplos:

Porque quanto mais pesado maior será a dificuldade na paragem devido ao embalo.

Porque a automotora que é puxada também leva balanço, empurrando portanto a primeira quando esta trava.

... porque tenho casos práticos em camionetas com reboque e tractores com reboque em que o espaço de travagem tem que ser muito maior do que se não tivesse reboque.

Apresentaram justificação baseada no facto de só uma automotora travar, 3 alunos. A seguinte frase exemplifica a explicação proposta:

Porque a automotora com reboque terá de travar por ela e por aquela que reboca.

Segunda possibilidade: O percurso necessário para travar é menor quando a automotora arrasta o atrelado porque a tendência de um corpo qualquer para parar é tanto maior quanto maior for o seu peso.

Optaram por esta possibilidade 15 alunos. Exemplo das justificações apresentadas:

Porque há um maior peso e por isso é natural que necessite de menos espaço para travagem.

Terceira possibilidade: A distância necessária para parar é sempre a mesma, quer haja ou não atrelado.

Escolheram esta possibilidade 5 alunos. Só 3 apresentaram justificação, a qual era do seguinte teor:

Porque existe atrito e tanto dá para a primeira como para a segunda.

2.3.2. Conclusões e implicações pedagógicas da análise das respostas

A análise das respostas à terceira questão conduziu às seguintes conclusões:

A percentagem de alunos que fez uma escolha correcta (78 %) e as justificações apresentadas permitem concluir que um elevado número de alunos possui ideias aceitáveis acerca do processo físico subjacente ao fenómeno considerado. Alguns alunos recorrem mesmo, de forma explícita, nas respectivas justificações, à noção de massa e à noção de inércia, mas esses são provavelmente repetentes.

A noção de massa transparece, também, dos argumentos apresentados por um número apreciável de alunos (30 %) para os quais, quando a mesma força actua, sucessivamente, em dois objectos diferentes (durante intervalos de tempo iguais), é menor a variação de velocidade produzida no corpo de maior «peso». Estes alunos possuem, pois, a noção intuitiva de massa de inércia, embora lhe atribuam a designação de «peso». É frequente, no dia a dia, a confusão entre os dois conceitos.

Há também muitos alunos que na sua análise do fenómeno recorrem ao conceito de quantidade de movimento, por eles designada «balanço» ou «impulso». Para este grupo de alunos, de dois objectos diferentes animados da mesma velocidade, possui maior «balanço» o de maior «peso». Assim, concluem, é mais difícil travar a automotora com atrelado, porque traz mais «balanço».

Um pequeno número de alunos propõe ainda uma justificação curiosa. Argumentam eles que se tanto a automotora como o atrelado tivessem os travões operacionais, a distância de travagem seria a mesma. Isto é, usando linguagem matemática, estes alunos admitem que a força é proporcional à massa, para uma aceleração fixa. Depois concluem que se a força for reduzida, isto é, se os travões do atrelado falharem, a variação (redução) da

velocidade será menor e, portanto, maior o percurso descrito até parar.

Podemos afirmar, em conclusão, que a segunda lei da dinâmica não é de difícil apreensão, desde que o seu significado seja ilustrado com o auxílio de exemplos judiciosamente escolhidos. Consideramos que o exemplo das automotoras é particularmente apropriado porque foca uma situação familiar. Facilmente podemos apresentar outros exemplos igualmente elucidativos por forma a cobrir plenamente o significado da segunda lei da dinâmica.

A escolha da segunda possibilidade parece apenas revelar falta de espírito de observação. Porém, não constitui problema preocupante o facto de alguns alunos terem optado por esta possibilidade porque o seu número é reduzido.

Menos significativo ainda é o número de alunos que optaram pela terceira possibilidade.

A situação focada na terceira questão serve para exemplificar a segunda lei da dinâmica nos seus múltiplos aspectos:

a) acelerações produzidas pela mesma força em objectos de massas diferentes;

b) comparação de forças que produzem a mesma aceleração em objectos de massas diferentes;

c) diferentes acelerações produzidas por forças diferentes no mesmo objecto.

2.4. Quarta questão

2.4.1. Análise das respostas, conclusões e implicações pedagógicas

O objectivo desta questão consiste em exemplificar o princípio da independência das

forças. As quatro alíneas que a constituem são outros tantos temas de reflexão relacionados com problemas de composição de forças.

a) *Pretende-se colocar dois carrinhos exactamente iguais, em movimento sobre a referida placa de tal modo que esta permaneça imóvel. Escolhe o esquema que te pareça apropriado para o efeito.*

Foi de 86 o número de alunos que escolheram correctamente o segundo esquema, 3 o terceiro, 2 o primeiro, 2 o quarto, 1 o décimo e 2 rejeitaram todos os esquemas propostos.

Conclusão: os alunos apercebem-se facilmente que é nula a resultante de duas forças de igual intensidade e sentidos opostos.

b) *Pretende-se colocar dois carrinhos iguais em movimento sobre a placa de tal modo que o efeito sobre esta seja equivalente ao de um só carrinho deslocando-se para a direita. Escolhe o esquema apropriado para o efeito.*

O terceiro esquema foi correctamente escolhido apenas por 35 alunos, o primeiro por 39, o sexto por 3, o oitavo por 3, o segundo por 2, o quarto por 2, enquanto que 12 alunos escolheram um esquema diferente dos sugeridos ou nenhum.

Podemos concluir que o elevado número de alunos que escolheram erradamente o primeiro esquema é revelador da dificuldade que os alunos têm de compreender que duas forças com a mesma intensidade mas de direcções distintas podem ter o mesmo efeito que uma só força igualmente intensa.

TABELA III — Análise das respostas à quarta questão.

Alínea	Esquema escolhido										% de respostas correctas	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		Outro ou nenhum
a)	2	86	3	2						1	2	89,6
b)	39	2	35	2		3		3			12	36,5
c)					3	1	4	2	67	1	18	69,8
d)				1	24	4	3	45	2	2	15	46,9

c) *Pretende-se colocar três carrinhos iguais em movimento sobre a referida placa, de tal modo que esta permaneça imóvel. Escolhe o esquema (ou esquemas) apropriado(s) para o efeito.*

O nono esquema foi correctamente escolhido por 67 alunos, por 4 o sétimo, por 3 o quinto, por 2 o oitavo, por 1 o sexto e também por 1 o décimo, enquanto que 18 alunos optaram por um esquema diferente dos propostos ou nenhum.

Constatamos que o número apreciável de alunos que fez uma escolha acertada mostra que sem grande dificuldade conseguem compreender que é nula a resultante de um sistema de vectores em condições particulares de simetria elevada, conforme acontecia já na alínea a). Por ser de um grau de dificuldade menor, este exemplo deve ser utilizado para ajudar os alunos a compreenderem a situação da alínea b).

d) *Pretende-se colocar três carrinhos iguais em movimento sobre a referida placa, de tal modo que o efeito sobre esta seja equivalente ao de um só carrinho deslocando-se para a direita. Escolhe o esquema (ou esquemas) que te pareça(m) apropriado(s) para o efeito.*

O oitavo esquema foi escolhido correctamente por 45 alunos, o quinto por 24, o sexto por 4, o sétimo por 3, o nono por 2, o décimo por 2, o quarto por 1, enquanto que 15 alunos escolheram um esquema diferente dos sugeridos ou nenhum.

Embora com alguma dificuldade, os alunos conseguem com frequência determinar a resultante de três vectores não colineares quando é nula a resultante de dois desses vectores. O conhecimento de ser a situação focada em a) familiar aos alunos é pedagogicamente útil para os ajudar a interpretar correctamente a situação considerada em d) que se apresenta com um grau de dificuldade superior.

Quando os alunos não têm facilidade em interpretar um determinado processo físico é vantajoso imaginar outro processo mais simples relacionado com o primeiro que lhes seja acessível a fim de os ajudar a ultrapassar os obstáculos encontrados.

2.5. Quinta questão

2.5.1. Análise das respostas

A quinta questão foca uma situação cuja interpretação correcta exige o recurso simultâneo à segunda e terceira leis da dinâmica. O Júlio não pode exercer uma acção sobre o Manuel sem que sofra, por parte deste, o efeito de uma acção igualmente intensa mas de sentido oposto. Por ser mais leve, o deslocamento do Manuel será maior, de acordo com a segunda lei da dinâmica (terceira possibilidade considerada no Inquirito).

TABELA IV — Análise das respostas à quinta questão. A percentagem de respostas correctas (terceiro quadrado) foi de 45 %.

Quadrado assinalado	Número de respostas		
	Total	Sem justificação	Justificação invocando noção de inércia
1.º	12	9	—
2.º	37	22	4
3.º	43	23	12
4.º	4	—	—

A primeira opção foi escolhida por 12 alunos, a segunda por 37, a terceira por 43, tendo 4 optado por uma possibilidade diferente das três sugeridas nesta questão.

Primeira possibilidade: Ao mesmo tempo que puxa o Manuel, o Júlio tenta impedir que a sua plataforma se mova, exercendo sobre ela uma força conveniente.

Dos 12 alunos que optaram por esta possibilidade apenas 3 apresentaram uma justificação, a qual é essencialmente do teor da que seguidamente transcrevemos:

Como o Júlio é mais pesado que o Manuel, o seu peso exercido sobre o carro é maior que o do Manuel impedindo o seu carro de se mover.

Segunda possibilidade: O deslocamento do Manuel é maior porque é o Júlio quem, puxando pela corda, exerce a força que está na origem do movimento.

Esta escolha foi feita por 37 alunos. Destes 22 não apresentaram qualquer fundamentação.

Por outro lado 11 alunos justificam a escolha efectuada invocando os argumentos sugeridos no próprio Inquérito, análogos ao seguinte:

Pois se é o Júlio que puxa pela corda é o Júlio que está a exercer uma força, logo é o Júlio quem faz com que o Manuel se desloque.

Porém, 4 alunos reconhecem que o facto de o Júlio ser mais pesado é o motivo real do seu menor deslocamento. Por exemplo:

O deslocamento do Manuel é maior porque ele é mais leve, portanto é mais fácil o seu deslocamento.

Terceira possibilidade: O Júlio é puxado pela própria corda que está a segurar. Por ser mais pesado que o amigo, o seu deslocamento é menor.

Como vimos 43 alunos optaram por ela. Destes, 23 não apresentaram fundamentação.

A escolha feita foi justificada por 12 alunos que argumentaram ser o parceiro mais pesado o que tem maior inércia, como mostra a seguinte frase:

O Júlio opõe maior oposição ao movimento devido à sua massa.

A opção feita foi explicada por 5 alunos invocando implicitamente ou explicitamente a ideia de atrito, como é o caso do seguinte argumento:

Porque é mais pesado e portanto faz mais atrito.

A escolha efectuada foi fundamentada por 3 alunos argumentando que o parceiro mais pesado é também o mais forte. Por exemplo:

Sendo o Júlio o de maior peso, partirá dele a maior força que obriga ao maior deslocamento do Manuel.

Quarta possibilidade.

Apenas quatro alunos fizeram uma escolha diferente das sugeridas nesta questão. As justificações apresentadas são distintas umas das outras e não revelam concepções originais ou dignas de registo.

2.5.2. Conclusões e implicações pedagógicas da análise das respostas

O objectivo desta questão é conjugar a segunda lei da dinâmica com o princípio de igualdade da acção e reacção.

Observa-se novamente, como já se tinha verificado na primeira questão, que o conteúdo da terceira lei da dinâmica não é intuitivo, concluindo-se que é importante que esta lei seja apresentada através de experiências que chamem a atenção dos alunos para as suas implicações. Seria natural que, apreendido o terceiro princípio da dinâmica, os estudantes fossem capazes de analisar correctamente esta questão pois de um modo geral o conteúdo da segunda lei da dinâmica lhes é mais familiar.

Partindo deste exemplo concreto e possibilitando-lhes a realização de experiências adequadas podemos levá-los a reflectirem sobre o que sucederia se fosse o Manuel a puxar o Júlio e se o atrito tivesse sido eliminado tão completamente quanto possível (visto que alguns alunos também fizeram referência ao atrito). É de esperar que deste modo concluíssem que a força exercida sobre o Júlio é de igual intensidade e de sentido oposto à força exercida sobre o Manuel e que o deslocamento do Júlio é mais pequeno porque a sua inércia é maior.

3. Conclusões finais

Parece ser universalmente aceite pelos alunos o princípio de Galileu, na parte que respeita à necessidade de intervenção de uma força exterior para que se altere o estado de repouso de qualquer corpo. Este facto, dado o seu carácter intuitivo, não suscita a reflexão crítica indispensável à compreensão do significado profundo do referido princípio. Com efeito, não faz sentido falar de repouso (ou movimento) de um corpo se se não definir previamente o referencial em relação ao qual esse repouso (ou movimento) é considerado. Resultam daí graves confusões que dificultam a compreensão do princípio de inércia e exigem, para o seu esclarecimento, métodos pedagógicos adequados.

O estudo do segundo princípio da dinâmica não oferece dificuldades dignas de registo.

As forças são frequentemente entendidas como meras acções exercidas pelos corpos capazes de as produzirem e não como interacções. Para grande número de alunos tudo se passa como se a Natureza reservasse para alguns corpos o papel de agentes activos em processos dinâmicos enquanto que outros corpos não passariam de meros espectadores passivos, condenados a sofrerem as consequências das forças exercidas pelos referidos agentes activos. Esta concepção dificulta a apreensão do princípio de igualdade da acção e reacção, cujo ensino se deve, pois, revestir de cuidados pedagógicos especiais.

Também o ensino do princípio da independência das forças exige particular atenção. Os alunos não sabem identificar as circunstâncias em que duas forças de intensidade x e y , actuando simultaneamente num dado corpo, têm o mesmo efeito que uma só força de intensidade menor que $x+y$. É imprescindível

que o ensino desta matéria seja acompanhado pela recapitulação de algumas noções relativas a operações com vectores.

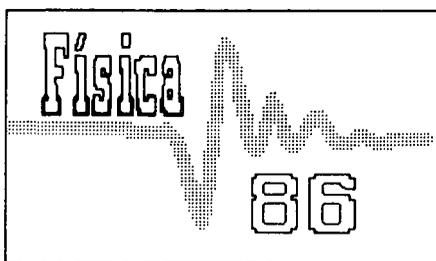
Grande parte das respostas saem do contexto das questões respectivas mas, apesar disso, permitem caracterizar os quadros conceptuais dos estudantes pelo que não invalidam o Inquérito.

Respostas há que revelam total ausência de motivação para analisar e discutir os problemas em termos físicos, tendo essas respostas o grande mérito de alertar para a necessidade de inserir os alunos num contexto correcto.

É possível dar continuidade a este trabalho abordando o seu tema sob novos pontos de vista de interesse, tais como a influência da idade, curso, adiantamento, sexo, etc. na aprendizagem das leis da dinâmica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. CONSTANÇA PROVIDÊNCIA — *Gazeta de Física*, 8, 83 (1985).



5.ª CONFERÊNCIA NACIONAL DE FÍSICA (UNIVERSIDADE DO MINHO)

Já se inscreveu? Já enviou os resumos de comunicações?

Se ainda o não fez, não espere mais: a partir do fim de Junho teria de pagar um suplemento...

Escreva hoje mesmo para:

FISICA 86. Departamento de Física, Universidade do Minho
Av. João XXI, 4719 BRAGA CODEX