

CAPÍTULO 12

O ENSINO DA FÍSICA ELEMENTAR A ALUNOS DE LICEU

DEWEY I. DYKSTRA, JR.

Sou um físico que tem uma concepção construtivista da natureza do conhecimento. Por «conhecimento» não quero dizer factos, os quais podem ser memorizados e repetidos. Isso pode ser feito por papagaios. Aquilo a que me refiro é à natureza das crenças sobre a natureza essencial dos aspectos do mundo e o modo como eles funcionam. Estas crenças conferem significado, sentido e contexto aos factos. A definição formal de velocidade, que é indicada em mais ou menos uma frase nos compêndios de física, não é exemplo do tipo de conhecimentos a que me refiro aqui. Em vez disso, por «conhecimento» estou a pensar em algo mais relacionado com a índole das ideias sobre as condições que resultam em velocidade constante ou sobre a natureza da velocidade enquanto elemento distinto da aceleração. Chamo «concepções» a estas noções. As preocupações sobre a natureza do conhecimento são de tal maneira importantes que vários autores escreveram de modo mais extensivo sobre a natureza do conhecimento dos alunos e a mudança conceptual, em outros artigos (por exemplo, Dagher, 1994; diSessa, 1993; Dykstra, Boyle, & Monarch, 1992; Smith, diSessa, & Roschelle, 1993).

Cheguei a este ponto de vista construtivista devido à minha convicção de que, como consequência do acto de ensinar, os nossos alunos deveriam ter uma compreensão nova do mundo. No início da minha carreira descobri que, quando ensinava como me tinham ensinado a mim, normalmente não havia por parte dos alunos

Quando quase toda a gente parece ter acabado esta tarefa, convido-os a partilhar as possibilidades que lhes parecem razoáveis. Começo com uma pergunta que tem várias respostas seguras do ponto de vista dos alunos: «Qual das forças parece estar a agir no carro enquanto ele está em movimento?» Segue-se uma amostra do que costuma acontecer:

Bob dá uma sugestão:

– Há gravidade que actua para baixo.

Desenho uma seta que aponta para baixo na primeira gravura do carro e pergunto:

– Esta força actua nalguma das outras alturas? É a mesma de todas as vezes? Ou muda com o tempo? O que é que acham? – estou a tentar levar Bob e a turma a participarem mais.

Bob pondera esta questão e depois responde cautelosamente:

– Acho que actua de todas as vezes e que não muda.

Para representar as ideias do Bob utilizei uma seta do mesmo tamanho em cada uma das gravuras para representar a força da gravidade que permanece a mesma em todos os intervalos de tempo. Pergunto:

– Há mais forças a actuar nesta situação?

Desta vez, Martha dá outra resposta segura:

– A mesa exerce uma força ascendente no carro. – Esta resposta é segura visto que esta força particular fora objecto de debate na turma numa das sessões anteriores. Um exemplo deste debate tinha sido descrito por Minstrel (1982).

Pergunto:

– Esta força encontra-se presente durante toda a corrida?

Acham que muda? – O «acham?» destina-se especificamente a desviar a atenção da noção de que estou à procura *da* resposta correcta para o facto de que estou interessado em que o debate se desenrole à volta das ideias e respostas deles.

Com alguma hesitação na voz, Martha responde:

– Sim, acho que se mantém a mesma.

Respondendo desenhando uma força ascendente em cada diagrama e prossigo:

– Há outras forças a actuar sobre o carro que achem que podem contribuir para o seu movimento com velocidade constante?

Steve sugere:

– Há o impulso.

– O.K., como devo desenhá-lo?

Steve responde:

– Desenhe uma seta que actua da parte de trás do carro na direcção do movimento em cada um dos diagramas.

– A dimensão da força mantém-se a mesma ou deve variar?

Steve responde imediatamente:

– Acho que deve manter-se a mesma.

Quando olho em redor numa pergunta silenciosa parece-me, pelas expressões faciais e pelas cabeças que anuíam o seu assentimento, que muitos dos outros concordavam. Desenho as forças de acordo com as instruções de Steve e depois pergunto:

– Há quaisquer outras forças em acção? – Estou a tentar obter todas as ideias que os membros da turma poderiam ter incluído, por isso continuo a fazer perguntas até mais ninguém se oferecer para responder. Porque o acto de voltar a perguntar uma coisa nas aulas tradicionais implica que a resposta «certa» ainda não surgiu, lembro-lhes que apenas queremos «pôr na mesa» todas as ideias possíveis.

Dwight diz:

– Eu incluí o atrito.

– Como devo representar esse atrito de modo a representar aquilo em que estás a pensar?

– Desenhe uma força pequena que actue para trás no carro e que se mantenha constante em todas as gravuras. – Assim faço.

Nesta altura pergunto:

– Alguém teve ideias diferentes das que se encontram representadas no quadro até ao momento?

Bob diz:

– Eu não incluí o atrito. Não faz o carro mover-se para a frente.

Respondo:

– O.K., por mim tudo bem. – Pergunto em seguida:

– Mas se incluísses o atrito, achas que o farias como fizemos aqui no quadro ou fá-lo-ias de maneira diferente?

Bob pensa por uns momentos e responde:

– Acho que fazia como está no quadro.

Pergunto:

– Existem outros factores que possam ser incluídos para explicar a velocidade constante do carro? – Ninguém se oferece para responder.

– Portanto, toda a gente tinha uma ou mais destas forças desenhadas nos seus trabalhos. Se as sugestões dos vossos colegas vos parecem razoáveis acrescentem-nas aos esboços nos vossos apontamentos. Vamos fazer uma pausa de um ou dois minutos enquanto pensam todos sobre o que está no quadro e fazem as alterações nos vossos desenhos. – Aguardo, para lhes dar tempo de fazerem isso. Quero que pensem especificamente naquilo que faz sentido para eles quanto a que forças desempenham um papel neste movimento de velocidade constante, pois a seguir vou perguntar-lhes o que acham que as forças devem «fazer» a fim de provocarem uma velocidade constante.

Quando me parece que acabaram de acrescentar o que queriam aos apontamentos, pergunto:

– De que modo vos parece que estas forças devem trabalhar juntas ou têm de *ser* para resultarem numa velocidade constante?

Agora Doris diz:

– Penso que têm de manter-se constantes.

– Por que razão te parece que têm de manter-se constantes?

Após uma breve hesitação responde:

– Acho que têm de permanecer constantes para manter o carro em movimento à mesma velocidade. – Há concordância geral.

– E a força de atrito? Como acham que se enquadra aqui? – pergunto à turma.

Mike diz:

– Tem de ser menor que a força de impulsão.

Quando pergunto: «Porque parece ser assim?», Mike responde:

– Se fosse tão grande como o impulso, o carro não se moveria.

– Verifica-se novamente uma concordância generalizada, expressa por acenos de cabeça e comentários.

Quando pergunto qual o papel das outras forças, as respostas típicas são: «A força da mesa apenas mantém o carro em cima, mas não o faz mover nem mais depressa nem mais devagar» e «Passa-se o mesmo com a pressão atmosférica». Quanto a este ponto, existe algum desacordo, pois, afinal de contas, «o ar pode provocar alguma resistência». Então Dwight sugere que esta resistência pode ser considerada parte do atrito.

Provavelmente a partir desta deixa de Dwight, Bob sugere que «a gravidade mantém a carro em cima da mesa, o que provoca atrito, mas já levámos o atrito em linha de conta».

Resumindo, parece existir consenso generalizado de que é necessária a existência de uma força constante na direcção do movimento e que, caso exista alguma força contrária a esta força de impulsão, então a resistência é muito menor. A minha intenção era levá-los a formular uma explicação da velocidade constante em termos de forças que fizesse sentido para eles. *Não é importante que formulem neste momento a resposta «correcta»*. É, porém, importante que, seja qual for a conclusão a que chegarem, essa conclusão seja a que faz sentido para eles neste estádio. O que descrevi é, no essencial, a conclusão a que chegaram todas as turmas que observei, não por unanimidade em cada uma delas, mas por uma esmagadora maioria em todos os casos. Esta descrição dos alunos encontra-se implantada nos seus espíritos quando passamos agora ao raciocínio sobre a aceleração constante e, posteriormente, à observação de um exemplo concreto.

Para finalizar esta parte do debate, peço aos alunos que pensem na resposta à seguinte questão: «Se tivéssemos um carro que se deslocasse ao dobro da velocidade a que se deslocava anteriormente, mas ainda a uma velocidade constante, que alterações deveríamos fazer nas nossas descrições de forças?» Após dar-lhes algum tempo para ponderarem e de os incitar a escrever as suas ideias, peço-lhes que as exponham.

Dwight oferece-se para responder:

– Se quisermos que o carro se desloque ao dobro da velocidade, temos de empurrá-lo com o dobro da força.

Bill pergunta:

– E o atrito? Se o carro se deslocar mais depressa, o atrito não é maior? Não temos que levar esse facto em consideração?

Faço uma expressão interrogativa e, com um gesto de dúvida, devolvo a pergunta à turma.

Mike afirma com alguma convicção:

– Creio que sim. A força de impulsão tem de ser o dobro da força de atrito anterior.

Martha responde rapidamente:

– Sim, independentemente de quão maior fosse a força de impulsão relativamente ao atrito anterior, ela tem agora de ser duas vezes superior ao atrito quando nos deslocamos ao dobro da velocidade, mesmo que o atrito também seja maior.

Aproveito esta oportunidade para fazer uma pausa e, nesta ocasião, vários alunos, com uma expressão de espanto, viram-se para os colegas e conversam com eles. Por fim, parece haver um acordo generalizado quanto a esta noção.

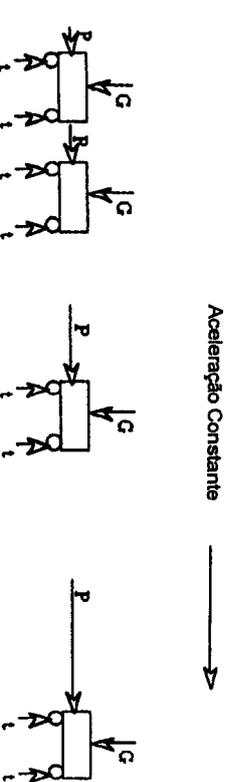
CONSIDERANDO FORÇAS E ACELERAÇÃO CONSTANTE

Em seguida, utilizo a minha mão para fazer um carro deslocar-se em cima de uma superfície horizontal com uma aceleração tão constante quanto possível e peço aos alunos que observem e reflitam sobre o novo movimento e as forças nele envolvidas. Repito o movimento várias vezes enquanto lhes peço que pensem no modo como as forças que parecem estar envolvidas se combinam para originar aquele movimento. Mais uma vez lhes peço que representem as forças por meio de setas para ilustrar as suas ideias quanto às forças que actuam sobre o carro. Desta vez, este move-se com uma aceleração constante. Desenham setas para representar as forças numa série de imagens do carro que pretendem representá-lo em intervalos sucessivos de tempo iguais. Peço-lhes que façam uma chave para estes diagramas que indique as forças que procuram representar. Lembro-lhes que devem desenhar as setas com um comprimento representativo das forças que creem estar em presença, tanto na relação entre si como para reflectirem qualquer mudança que possa ocorrer com a passagem do tempo. Por fim, peço-lhes que escrevam de novo, em prosa, o que tentaram representar sobre o modo como as forças envolvidas resultam no movimento representado nos seus diagramas. Na figura 12.2 podemos ver um desenho típico feito por um aluno.

Quando todos parecem ter terminado esta tarefa, convido-os a sugerir as possibilidades que lhes parecem razoáveis. Começo por perguntar:

– Podem indicar uma das forças que parece estar a actuar sobre o carro quando este se desloca? Desta vez devemos colocar a gravidade? – Há consenso geral. Pergunto:

– Mantém-se constante de todas as vezes? – De novo a resposta é consensual.



P: a força de impulso
G: gravidade
L: as forças da mesa

As forças da mesa anulam a gravidade
A força de impulso aumenta quando aumenta a velocidade
Se existir atrito, a força de impulso continua a aumentar

FIGURA 12.2 - Uma resposta típica pré-instruções sobre as forças envolvidas na manutenção de uma aceleração constante.

Bob oferece-se para responder:

– Acho que neste caso as forças que actuam são basicamente as mesmas.

Tentando que todos decidam se concordam ou não com Bob, pergunto:

– Bem, que pensam os outros? Será que existirão novas forças em acção que necessitemos considerar para explicar este novo movimento? – Todos parecem concordar com Bob em que parecem estar envolvidas as mesmas forças. Estou novamente a tentar ventilar toda a espécie de possibilidades. Visto não serem sugeridas mais forças, chamo agora a atenção para o problema de como funcionam estas forças de modo a provocar uma aceleração constante.

– Então, como é que estas forças têm de «funcionar» para resultarem numa aceleração constante?

Agora Martha, que parece confiante naquilo que crê ser a ideia geral que a turma expressou até aqui, diz:

– A força de impulso tem de aumentar cada vez mais.

– Porque parece que a força de impulso tem de fazer isso?

Steve dá a sua explicação:

– Para fazer o carro mover-se cada vez mais depressa, temos de empurrar cada vez com mais força. – Parece haver consenso.

– E a força de atrito? – Quero que considerem o papel de cada uma das forças.

Bob diz:

– Tem de ser menor que a força de impulso.

uma nova compreensão. Tendo procurado provas da existência de uma nova compreensão, como resultando do acto de leccionar uma vasta gama de níveis de ensino nas duas décadas passadas, descobri que, infelizmente, é este o estado geral das coisas. Também não acredito que só meia dúzia de pessoas inteligentes sejam capazes de *fazer* matemática e ciências. O facto de ter estas duas convicções dificultou-me a vida, pois a primeira provoca uma expectativa que normalmente não se concretiza e a segunda descarta as razões mais comumente aventadas para explicar o facto de a maioria dos alunos não entender as ideias novas em ciências quando deixam as nossas aulas.

A braços com a compreensão do facto de o ensino típico da física ter um resultado pouco satisfatório, e privado das explicações *ad hoc* típicas para este fracasso, debati-me com um grande desequilíbrio durante alguns anos. Ao acomodar-me à situação, desenvolvi uma visão construtivista do conhecimento e cheguei à conclusão de que o modo como ensino a física tem de ser drasticamente diferente daquele através do qual fui ensinado.

Este capítulo constitui uma tentativa de ilustrar aquilo que presentemente se tornou típico no que diz respeito às interações nas minhas aulas. Tendo vindo a ensinar de maneira diferente há alguns anos a esta parte, impellido pelas noções que os meus alunos têm dos fenómenos em curso e não pelos textos, reparo que cada grupo de alunos passa por uma sequência semelhante de considerações. A sequência de ideias é de tal modo passível de ser reproduzida que frequentemente as palavras que utilizam chegam a ser semelhantes. O que se segue ilustra as minhas experiências com os alunos.

Começamos num cenário de laboratório para alunos. Há 24 alunos sentados em grupos de quatro em redor de mesas grandes.

EXAMINAR O QUE PENSAMOS CONSIDERANDO FORÇAS E VELOCIDADE CONSTANTE

Enquanto os alunos estão a observar, peço-lhes que considerem o movimento de um carro enquanto utilizo a minha mão para o fazer deslocar a uma velocidade o mais constante possível sobre

uma superfície horizontal. Repito este movimento várias vezes e peço aos alunos que reflectam no modo como operam as forças que parecem estar envolvidas e que resultam no movimento observado. Numa aula anterior, a turma já utilizara setas em diagramas para representar forças que têm como resultado um objecto ficar estacionário.¹ Peço-lhes agora que também representem as forças por meio de setas, ilustrando as suas ideias acerca das forças que actuam sobre um objecto que se move a uma velocidade constante numa série de gravuras do carro que pretendem representá-lo em intervalos de tempos sucessivos iguais. Peço-lhes que façam uma chave para estes diagramas, para clarificarem as forças que pretendem representar. Lembro-lhes que devem ajustar o comprimento das setas para que as forças representem o que pensam sobre as quantidades relativas das forças envolvidas, tanto nas comparações entre si como para reflectirem quaisquer mudanças que podem ocorrer à medida que o tempo passa. Peço-lhes, por fim, que escrevam em prosa o que tentavam representar quanto ao modo como as forças resultam no movimento de velocidade constante. Enquanto consideram estas ideias, alguns perguntam: «Devemos incluir coisas como o atrito?» A minha resposta é: «Se acham que é importante na vossa explicação da velocidade constante, por favor façam-no.» Um trabalho típico de um aluno contém os elementos que se encontram na figura 12.1.

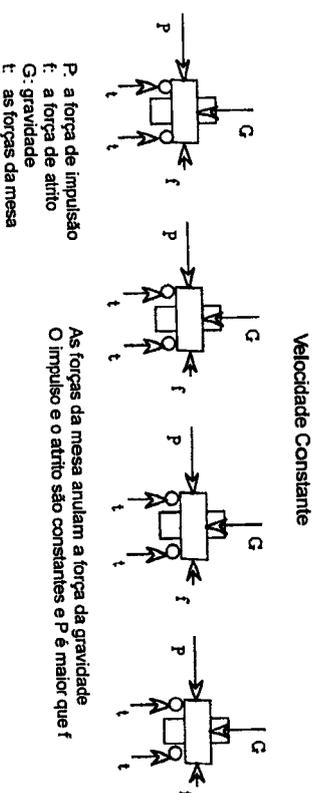


FIGURA 12.1 – Uma resposta típica antes das instruções sobre as forças envolvidas na manutenção de uma velocidade constante.

¹ Esta sessão da aula anterior é semelhante à que Jim Minstrell (1982) e John Clement (Camp & Clement, 1994) levam a cabo com os seus alunos.

Mike diz:

– Mas se o carro andar cada vez mais depressa, o atrito é cada vez maior. – Pronuncia as palavras com tal entoação que é óbvio que quase se trata de uma pergunta. – Como é que levamos isto em consideração?

Martha responde:

– É como quando pensamos no carro a andar ao dobro da velocidade. Se o atrito aumenta então a força de impulsão tem de aumentar ainda mais. Trata-se de quão maior a força de impulsão é em relação ao atrito; a diferença tem de aumentar cada vez mais para a velocidade aumentar continuamente. – Há um misto de concordância generalizada e de um novo entendimento, pois alguns dos alunos estão a acrescentar a noção de atrito à ideia que tinham das forças que provocam o movimento.

Quando pergunto o que se passa com as outras forças, a primeira resposta vem de Dwight:

– O impulso e o atrito são os factores importantes aqui. A gravidade apenas mantém o carro em cima da mesa e a mesa impede que o carro caia.

Portanto, parece haver um consenso geral de que é necessária a existência de uma força que aumente constantemente e que exceda o atrito, na direcção do movimento de modo a que a velocidade de um objecto aumente de forma constante.

APLICANDO AS NOSSAS IDEIAS A UM CASO CONCRETO

Na aula de laboratório seguinte, pretendo que a investigação continue e digo:

– Num a aula anterior decidimos como achamos que as forças explicam a «ausência de movimento» ao concluímos que as forças devem «anular-se» para que um objecto permaneça estacionário. Ainda agora examinámos as nossas ideias sobre o papel das forças na velocidade constante, tendo-nos parecido que a força de impulsão tem de ser uma determinada quantidade constantemente maior do que as forças de resistência, e na aceleração, caso em que nos pareceu que a força de impulsão deve aumentar constantemente relativamente às forças que se lhe opõem, de

modo a obtermos uma velocidade cada vez maior. Consideremos um exemplo concreto e vamos utilizar as nossas ideias para prever o que irá passar-se. – Quando os alunos se viram para os aparelhos que se encontram em cima das mesas, descreitos esquematicamente na Figura 12.3, vêem um carro preso a um fio, o qual, após passar por algumas roldanas, se encontra preso a alguns pesos pendurados na borda da mesa.

Até este momento tenho estado a tentar que os alunos pensem nas suas explicações para o movimento. Não é um hábito comum na vida quotidiana pensar neste assunto, por isso, quando vêm para a aula, muitos alunos creem que não se encontram ao seu alcance as bases para uma explicação clara e explícita. A discussão anterior ajuda os alunos a obterem estes fundamentos por si próprios.

O meu objectivo final consiste em maximizar as hipóteses de os alunos ficarem em desequilíbrio. Quanto mais pormenorizadas e explícitas forem para eles as suas próprias ideias e quanto maior o seu empenho nessas explicações, mais provável será o desequilíbrio quando decidirem por si próprios que as explicações não fazem sentido. Pergunto-lhes:

– Se tivessem de desenhar um gráfico da força exercida pelo fio no carro, a força de impulsão, no tempo, que aspecto pensam que esse gráfico teria e porquê?

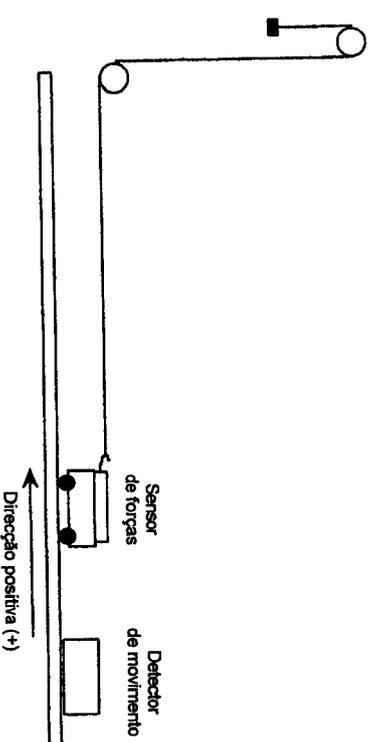


FIGURA 12.3 – Um diagrama esquemático do aparelho utilizado para a actividade laboratorial sobre forças e movimento. O sensor de forças é preso a um carro e o fio que segura os pesos é preso ao gancho no sensor de forças. Isto permite que o sensor de forças detecte a grandeza da força a partir do fio que puxa o carro enquanto o detector de movimento regista o movimento deste.

há consenso. Bob, Milke, Dwight e outros pensam que o gráfico deve reflectir uma força que aumenta de modo constante pois, como assinala Milke, «o carro acelera quando o largamos, por isso a força tem de aumentar de modo a provocar esse efeito.» O gráfico representando a força na parte superior da figura 12.4 é o deles.

Martha, Doris, Steve e outros discordam.

– O peso pendurado de lado mantém-se constante, por isso a força tem de ser constante. – diz Steve. O gráfico representando a força na parte superior da figura 12.5 é o deles.

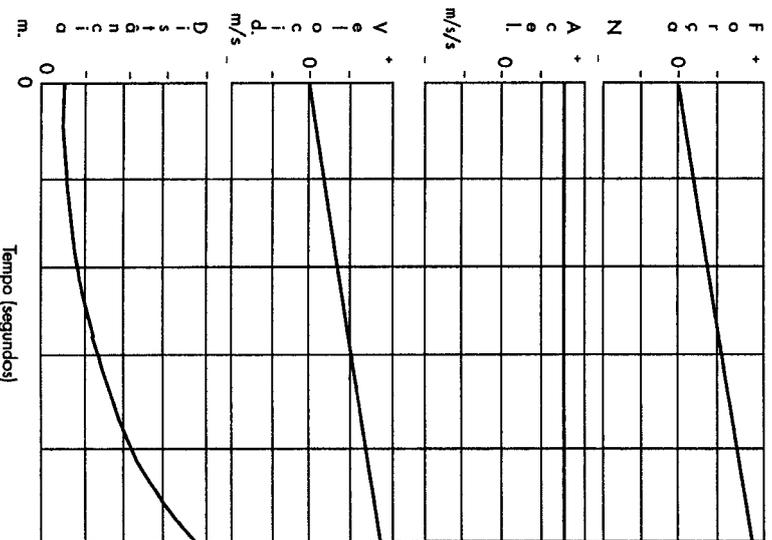


FIGURA 12.4 – Previsões da força de impulsão sobre o carro e o seu movimento – aceleração constante. Este conjunto de gráficos representa previsões típicas feitas por alunos que se concentram no facto de acreditarem que o carro vai acelerar quando for libertado, o que, a seu ver, indica que a força deve aumentar. Aqui são ignoradas a libertação e a preensão.

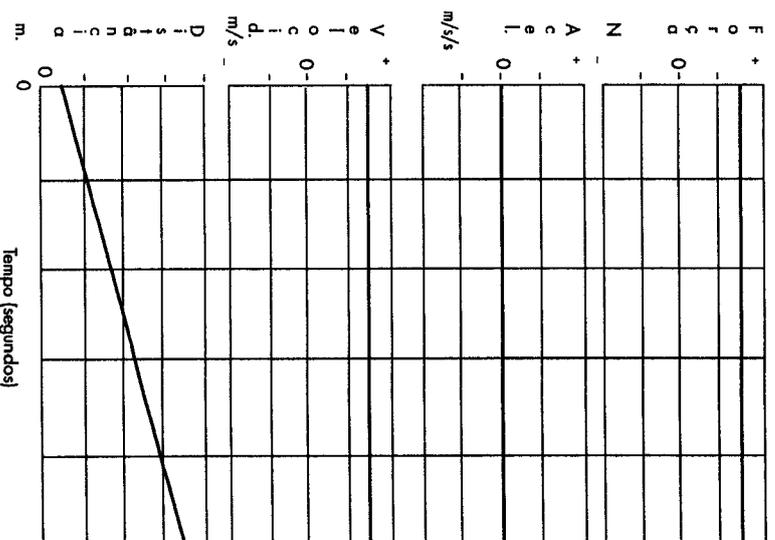


FIGURA 12.5 – Previsões quanto à força de impulsão sobre o carro e o seu movimento – força constante. Este conjunto de gráficos representa previsões típicas feitas por alunos que se concentram no facto de acreditarem que o peso suspenso não muda ao cair, o que significa que a velocidade será constante e a aceleração terá o valor zero. Aqui são ignoradas a libertação e preensão.

Em seguida, porque pretendo que eles associem as previsões respeitantes às forças e as respeitantes ao movimento resultante, peço-lhes que imaginem qual seria o gráfico do movimento quando pomos este aparelho a trabalhar. Libertando o carro e apanhando-o antes de cair da mesa. Apercebo-me que, ao fazê-lo, normalmente utilizam as noções expressas na discussão anterior. Bob, Milke e Dwight produzem gráficos respeitantes à distância, velocidade e aceleração como os reproduzidos na Figura 12.4.

Preveem uma aceleração constante. Os gráficos feitos por Martha, Doris e Steve assemelham-se aos da Figura 12.5. Preveem a velocidade constante.

Repare-se que, enquanto nas Figuras 12.4 e 12.5 temos a representação de previsões distintas, ambas as previsões são consistentes com as opiniões sobre forças e movimento a que os alunos chegaram e que poderiam ser assim expressas: a força muda quando a velocidade muda. Trabalham todos a partir da mesma «grande ideia» que trouxeram para a aula – a força implica movimento. Na Figura 12.4, Bob, Mike e Dwight querem dizer que, visto que o carro acelera, a força deve estar a aumentar. Na Figura 12.5 Martha, Doris e Steve afirmam que, visto que a força permanece constante, também a velocidade deve permanecer constante. As diferenças nas previsões parecem dever-se à característica da situação a que os alunos se referem.

SUMARIAMENTE, A RESPEITO DA TERMINOLOGIA

Em muita da literatura sobre o ensino das ciências, o termo *concepção* é utilizado com vários modificadores: *concepções alternativas*, *concepções do quotidiano*, *concepções do homem da rua*, *pré-concepções*, *concepções ingénuas*, *concepções erróneas*. Na literatura, existe alguma discussão sobre o termo a utilizar, mas este debate raramente nos conduz ao nível da natureza das concepções. Os artigos citados no primeiro parágrafo deste capítulo encontram-se entre os poucos que vão mais fundo.

Infelizmente, muita da literatura parece referir-se às concepções como sendo o tipo de previsões que os alunos fazem, como descritas acima. O ensino que tem como ponto central este nível não contempla as noções ou crenças subjacentes sobre o mundo. Se não forem tomadas em consideração, tais noções serão utilizadas novamente pelo aluno. É este nível de noção ou crença que deveria constituir objecto de discussão durante o ensino e é ela que merece o nome de «concepção».

VERIFICANDO AS NOSSAS PREVISÕES

Agora que já recebi previsões específicas em relação ao que irá passar-se, peço aos alunos que liguem um computador equipado com transdutores² para o movimento e a força que registam os dados respeitantes ao movimento e força durante uma série de corridas. O resultado da primeira corrida com 100 g pendurados são comparados com as previsões feitas. Há um misto de surpresa e confiança quando os alunos obtêm os resultados indicados na Figura 12.6.

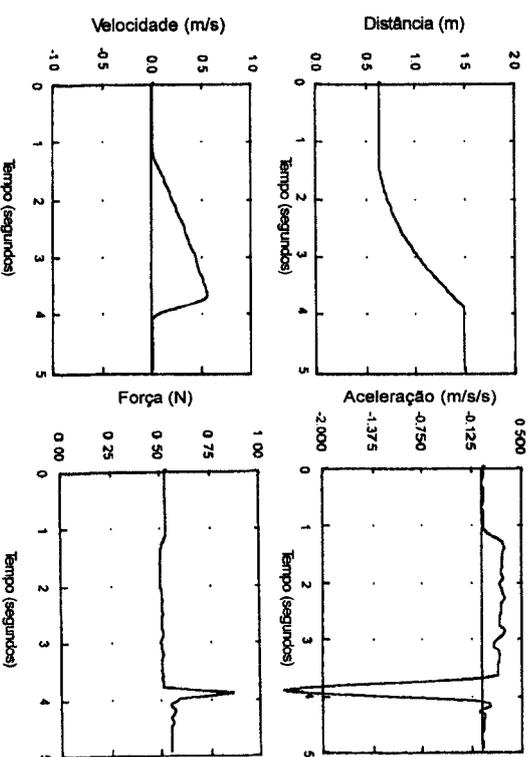


FIGURA 12.6 – Gráficos da corrida real. Repare-se que este conjunto não corresponde a nenhum dos dois conjuntos anteriores. É significativo o facto de, enquanto o carro aumenta a sua velocidade como previsto na Figura 12.4, a força permanece constante durante o movimento como previsto na Figura 12.5.

² Utilizamos os transdutores e o software originariamente desenvolvidos como parte do Projecto de Laboratório Baseado em Microcomputador (MBL) (Microcomputer-Based Laboratory (MBL) Project) fundado pela National Science Foundation (Brasel, 1987; Thombon, 1994). Encontram-se normalmente disponíveis *hardware* e *software* semelhantes a este na maior parte dos computadores das salas de aula.

– Olha, previmos que a aceleração seria constante! – Mike e Dwight pensam que os dados confirmam as suas previsões.

– Mas não previmos que a força seria constante! – Bob parece aperceber-se de que algo está errado.

Como se também ela tivesse obtido confirmação das suas previsões no resultado, Martha afirma:

– Vejam, nós previmos que a força seria constante!

– Mas também previmos que a velocidade seria constante e não é! – Doris e Steve, à semelhança de Bob, apercebem-se de que existe uma discrepância significativa.

Continuam todos a recolher dados de corridas com pesos de 50, 100, 150 e 200 gramas pendurados na ponta do fio, registando desta vez a força e a aceleração durante cada corrida como indicado no ecrã do computador. Estão atarefados a trabalhar, fazendo as corridas e registando os dados e, enquanto o fazem, debatem-se com pormenores como manter os fios a correr nas roldanas, apanhar os carros antes que estes embatam em algo ou caiam da mesa, e decidir a partir de que local dos gráficos deverão efectuar as leituras da aceleração e da força.

Há uma discussão adicional nos grupos do laboratório sobre as discrepâncias entre as previsões e os resultados. Em alturas diversas no final do trabalho no laboratório, tanto Martha como Doris se dirigem a mim para perguntar essencialmente o mesmo:

– Falta aqui qualquer coisa. Parece que a força constante provoca aceleração constante. Isto «tira-nos» a nossa explicação para a velocidade constante. Então, o que é que causa a velocidade constante?

Por dentro estou muito satisfeito. É exactamente com este dilema que espero que se debatam. Por fora, tento permanecer muito calmo. Quero que este dilema seja *délicat*, influenciado apenas pela sua consideração do movimento e das suas causas. Quero encorajá-los a fazer isto, por isso respondo:

– O que estão a dizer faz sentido para mim. Não podemos negar o que observamos nos gráficos. Isso coloca-nos um dilema. Não temos tempo para resolvê-lo, agora que estamos no fim da aula de laboratório, mas parece que devemos falar sobre o assunto na próxima aula teórica. Pensem no assunto esta noite e estejam preparadas para contribuir com as vossas ideias quando for a altura apropriada na aula de amanhã.

A aula prática em laboratório chegou ao fim e os 24 alunos da turma dirigiram-se para as suas aulas seguintes.

DAR UM SENTIDO ÀS DISCREPÂNCIAS

A próxima reunião da turma começa com cerca de 150 alunos sentados na sala. Começo por fazer perguntas para revisão das previsões feitas. Os alunos podem encontrar estas respostas olhando para as suas notas de laboratório. O meu objectivo é levar o maior número de alunos possível de novo ao estado de desequilíbrio que existia quando compreenderam que a força e o movimento do carro não eram os que haviam previsto no laboratório. Tento também que aqueles que, no fim da sessão de laboratório, não se encontravam no estado de desequilíbrio, o fiquem agora. Tento obter este resultado levando-os a rever as notas sobre como pensavam que a velocidade e a aceleração se encontram relacionadas com a força e como isto se encaixava nas previsões que fizeram sobre o carro com o peso suspenso. Visto ter procurado que eles escrevessem não apenas previsões, mas as razões subjacentes às mesmas, têm algo que consultar, o que faz com que mais pessoas contribuam para a aula.

Depois de lhes perguntar quais tinham sido as suas previsões e de as registar no quadro seguindo as suas instruções, chegamos à conclusão de que, de todas as sessões de laboratório, existem essencialmente apenas duas previsões, que são as que se encontram representadas nas Figuras 12.4 e 12.5.

– Então, o carro comportou-se de acordo com alguma destas previsões? – pergunto, encorajando-os a comparar os seus dados com as suas previsões.

– Não, cada uma está metade errada, – responde Steve. – A força era constante, o que corresponde às previsões de um grupo mas não do outro. Quanto ao movimento, a aceleração era constante, que foi o que o outro grupo previu. Em vez disso, o primeiro grupo previu uma velocidade constante. Por cada quantidade de peso que suspendemos a força manteve-se constante e, contudo, a aceleração manteve-se constante em cada um dos casos.

– Todos parecem concordar; aparentemente uma força constante provoca uma aceleração constante.

Pareceu-me, nesta altura, que os alunos decidiram que não podiam pôr os dados em causa nesta questão. Haviam utilizado um aparelho MBL nas semanas anteriores para estudar o movimento, e neste momento confiavam bastante no aparelho que

gera os gráficos e por isso acreditam nele quando contradiz as suas hipóteses.

Enquanto a turma concorda com Steve, Doris chama a atenção para o seguinte:

– Esperem. Há aqui um problema: se uma força constante provoca uma aceleração constante, então não temos uma explicação para a velocidade constante. Então, o que é que provoca a velocidade constante? – diz, olhando para mim e sorrindo, pois apercebe-se de que é este o momento indicado para levantar a questão sobre a qual fez a pergunta no laboratório.

Agora o resto da turma olha-me também, em silêncio. Para muitos deles, o dilema apenas começava a despontar. Este é um «momento mágico» na medida em que os meus esforços foram recompensados por um desequilíbrio aparente em vários alunos. Encontram-se todos o mais perto possível deste dilema, cada um com alguma sensação de desequilíbrio.

Nestes momentos tenho normalmente sentimentos contraditórios. É triste que a reacção inicial dos alunos seja olhar para mim à procura de uma resposta. Esta parece ser uma reacção que a escola lhes ensina. Esperemos que, quanto mais vezes fomos capazes de criar situações em que eles construam as suas próprias respostas, menos provável seja que olhem para o professor em busca de uma resposta. A minha reacção é levá-los a considerar as várias possibilidades.

– Portanto, a nossa explicação anterior, aparentemente lógica, já não parece fazer sentido depois de termos observado mais de perto a situação. Quais são as alternativas possíveis? Vamos ver se alguma delas dá melhores resultados.

Após algum tempo, Bob diz:

– Ouvi numa aula anterior que um objecto continua a deslocar-se do mesmo modo a não ser que sobre ele actue uma força exterior.

Os restantes alunos ficam silenciosos, a olhar para mim para ver a minha reacção. Respondendo de modo neutro:

– Muito bem. Mais ideias?

Neste momento Martha, que tem estado a pensar sobre este assunto desde que fez a pergunta no dia anterior, diz:

– Já sei! É a ausência de força, é isso que causa a velocidade constante, é a ausência de força.

Alguns dos outros alunos sorriem condescendentes ao ouvirem estas palavras. Respondo:

– Muito bem, mais ideias? Vamos ouvir todas as possibilidades antes de começarmos a analisá-las.

Mike oferece-se para responder:

– Talvez seja uma força decrescente que provoque a velocidade constante.

– Muito bem. Há outras possibilidades que ocorram a alguém?

– Parece não existirem outras ideias.

– Bem, parece que, depois de sermos forçados a abandonar a explicação da força constante, temos como possibilidades a ausência de força e uma força decrescente. Porque não uma força crescente? Iria equilibrar as possibilidades, não é? – sugiro.

Dwight responde com rapidez:

– No laboratório verificámos que quanto maior é a força, maior é a aceleração. Aumentar a força vai piorar as coisas, se quisermos obter uma velocidade constante.

– O que pensam os outros sobre este assunto? – Os outros concordam com Dwight.

– Muito bem, podemos portanto decidir eliminar a força crescente neste momento. Quem é que pensa que pode ser força decrescente, como foi sugerido?

Vários alunos levantam a mão. Olho para eles e pergunto:

– Porque é que esta solução vos parece possível?

Mike responde pelo grupo:

– Bem, ao examinarmos os gráficos de distâncias que obtivemos esta semana no laboratório, as curvas são sempre mais apertadas no início e, no fim, as linhas são mais rectas, como na velocidade constante. Portanto, é necessária mais força no início para endireitar o gráfico.³

³ O gráfico de distâncias que vemos na Figura 12.6 é em forma do que designamos por parábola. A sua curvatura inicial é maior, como faz notar Mike. Ao tentar tornar o gráfico de distâncias mais rectilíneo, Mike utiliza o facto de surgir uma velocidade constante num gráfico de distâncias, sob a forma de uma linha recta ligeiramente inclinada para cima. Afirma que, se tivéssemos uma força maior no início, esta parte de curva ficaria mais recta e que será necessária menos força posteriormente, visto o gráfico de distâncias tender para a forma de linha recta com a continuação.

– Quem é que discorda da explicação da força decrescente? –
 Erguem-se algumas mãos em resposta à minha pergunta. – Têm alguma observação a fazer a estes comentários? – pergunto aos alunos que têm a mão no ar.

Bill diz:

– Não parece certo. Não sei como explicar. Acho que me parece que, se existe força, existe aceleração.

Doris aponta, com alguma excitação:

– Acho que o Bill tem razão. Olhem para os dados que escrevemos no quadro. Tínhamos quatro forças diferentes e de todas as vezes tínhamos *aceleração* e não tínhamos velocidade constante. (Durante a revisão da matéria dada no início desta aula, a força medida e a aceleração observadas para cada peso suspenso nas roldanas foram anotadas no quadro a partir dos dados que os alunos registaram no laboratório. Consultar a Figura 12.7.)

Número de massas de 50 g suspensas	Aceleração (m/s/s)	Força (N)
0	0,23	0,50
1	0,51	0,95
2	0,71	1,39
3	0,91	1,80

FIGURA 12.7 – Uma tabela de dados típica. As forças e acelerações resultantes foram geradas suspendendo diferentes massas no gancho do aparelho descrito na Figura 12.3.

Mike retoma a palavra:

– E que alternativa temos? Não pode afirmar-se que a ausência de força provoca uma velocidade constante. Nunca existe ausência de força no carro. Existe sempre atrito em qualquer carro a sério.

Martha defende Doris:

– Mas se observares os dados, não só tens sempre aceleração para todas as forças como também tens sempre uma aceleração menor para forças menores. Se a força se tornar zero, então a aceleração também é zero, e uma aceleração zero equivale a uma velocidade constante. Por isso é que eu disse que a ausência de força provoca uma velocidade constante.

Mike repete:

– Mas como pode existir *ausência* de força, se existe sempre uma força qualquer? – Alguns alunos abanam a cabeça em assentimento.

Martha não tem resposta, mas não concorda e franze o sobrolho, à semelhança de alguns dos colegas.

– E um foguetão no espaço? – diz Bob, como se tivesse estado com a cabeça noutra lugar e regressasse de repente à conversa. – Está longe de tudo, por isso não há nada que afecte o foguetão. O motor de repente avaria-se. O que é que lhe acontece? Pára?

Mike diz:

– Não, simplesmente continua, mas isso passa-se no espaço onde não existe atrito!

Walter, que, até ao momento, pouco dissera, interroga:

– Queres dizer que não pára pura e simplesmente?

Doris responde:

– E o que é que o fazia parar?

Walter diz:

– Hmmmm... Acho que não existe nada no espaço para o fazer parar.

Então Steve, pegando na história do foguete, observa:

– O atrito trabalha contra. E se este foguetão tivesse um motor à frente para o travar? Se estivesse a funcionar era como o atrito. Se fosse mais forte que o motor na cauda, o foguetão andava para trás. Se fossem exactamente iguais, então nenhum deles era capaz de fazer o foguetão andar mais depressa ou mais devagar quando se encontrarem ambos ligados. Uma força anula a outra, *ausência* de força.

– Então queres dizer que aqui em baixo na Terra com o carro, quando o atrito – o motor da frente – é igual à força de impulsão – o motor da retaguarda – não existe uma força que se sobreponha à outra e o carro nem acelera nem desacelera? Eu achava que era isso que fazia os objectos não se moverem. – diz Jane, outra aluna que não havia dito muita coisa até ao momento, mas que obviamente estava a seguir a discussão.

Bob responde:

– Mas pensem outra vez no foguetão. Se ligarmos o motor traseiro e pusermos o foguetão a andar a determinada velocidade e, após um bocado, ligarmos o motor da frente e o ajustarmos

para fazer com que as forças propulsoras sejam iguais, o foguetão pára?

– Ah, estou a ver, o foguetão não pára, continua à mesma velocidade. Queres dizer que se passa o mesmo com o carro? Compreendes o que ele quer dizer, Mike? – pergunta Jane, excitada.

Mike responde:

– Certo, estou a perceber como é que pode dar resultado aquilo que vocês estão a dizer. Não era nada disso que eu estava a pensar e não sei se me parece bem, mas acho que percebo o que querem dizer.

Nesta altura, Martha exclama, com entusiasmo:

– É isso que eu tenho estado a dizer! A ausência de força é que provoca a velocidade constante!

O desacordo em relação a esta noção não tem força suficiente para manter a discussão. Alguns alunos compreendem agora de que modo esta noção faz sentido. Outros, como Mike, podem achar que «não lhes parece bem», mas percebem de «onde vem» e de que maneira pode explicar os factos. Nesta altura, digo:

– Este foi um problema que ocupou os seres humanos durante muitos anos. Isaac Newton, sabem, aquele que estava debaixo da macieira, pensou muito no assunto. Uma das coisas que decidiu que fazia sentido para ele foi esta: «Todos os objectos continuam em estado de repouso ou num movimento constante em linha recta a não ser que sejam forçados a mudar esse estado por uma força que sobre eles actue». É isto que querem dizer? – Segue-se uma discussão sobre este assunto.

PENSAMENTOS SOBRE O QUE ACONTECEU NA DISCUSSÃO

Rememorando o início desta sessão, a noção que, embora por motivos diferentes, fora introduzida por Bob e Martha, de que a ausência de força era necessária para que um objecto se deslocasse a uma velocidade constante (como na denominada primeira lei do movimento de Newton), pareceu constituir uma ideia a tal ponto estranha para os alunos que foi ignorada. Em algumas turmas, quando é mencionada no início da

discussão, a ideia é considerada ridícula por alguns alunos. Isto, penso eu, mostra bem a que ponto se encontra enraizada a noção de que «a força provoca o movimento» e a que ponto não faz qualquer sentido a noção de que «a ausência de força provoca uma velocidade constante». Na óptica dos alunos, o movimento parece traduzir-se directamente em velocidade à medida que começam a diferenciar as componentes do movimento. Daí que a noção «a força provoca a velocidade» parece ter substituído «a força provoca movimento». O facto de nem todos os alunos considerarem que a ideia «soa bem» é mais uma prova de que é difícil livrarmo-nos de ideias arraigadas.

Esta viragem da noção «a força provoca movimento» para «a força provoca movimento variável» é tanto mais difícil quanto parece encontrar-se dependente de outras duas viragens no modo de pensar. Para muitos alunos, pensar em termos de um movimento continuamente variável é uma noção muito recente, pois só desenvolveram este hábito na unidade de ensino anterior. Um dos factores-chave na mudança da maneira de pensar sobre forças é a distinção entre movimento e movimento variável.

A segunda, e menos óbvia, viragem na maneira de pensar que os alunos levam em conta é outro aspecto do seu raciocínio sobre a natureza da própria força. Para muitos deles, os objectos parecem mover-se porque uma força particular provoca o movimento. Caso se encontrem presentes outras forças, mas se o objecto se deslocar na direcção desta força, então parece que esta força se *sobrepe* às outras, provocando este movimento particular. Parece que, de início, muitos alunos não encaram as forças como entidades que operam em simultâneo, sendo o efeito líquido da totalidade das forças que determina o resultado, de tal modo que forças opostas iguais determinam um equilíbrio. Se assim não fosse, o dilema do significado da «ausência de força» que provoca uma velocidade constante não teria sido um dilema e toda a discussão sobre os foguetões no espaço não apareceria tão regularmente nos debates, levantada pelos alunos turma após turma, pois é desta forma que resolvem o dilema do significado da «ausência de força».

O ESTATUTO DESTAS DESCRIÇÕES DAS IDEIAS DOS ALUNOS

Estas considerações que fiz sobre as ideias dos alunos são as *minhas* ideias acerca das ideias deles. Derivadas da experiência na sala de aula, são consistentes com a recolha de dados em entrevistas individuais feitas por investigadores e com experiências levadas a cabo por outros professores nas suas aulas. Não obstante, são as minhas reconstruções das concepções dos alunos. Estas descrições das ideias dos alunos apenas têm valor ou validade na medida em que me ajudam, a mim e a outros professores, a atingir os fins a que nos propusemos, ou seja, na medida em que se adequam às *nossas* intenções enquanto professores relativamente aos alunos e em que se enquadram nas *nossas* experiências com os alunos. Neste sentido, podemos funcionar enquanto professores como se essas ideias estivessem presentes no espírito dos alunos. Mas sem este pressuposto quanto ao nosso entendimento sobre as suas ideias, arriscamo-nos a ser demasiado rígidos e incapazes de responder com eficácia quando o comportamento dos alunos não é o que esperávamos.

Estas descrições das ideias dos alunos não se encontram justificadas, pois creio que apenas poderão ser verificadas, ou sé-lo-ão, como existindo realmente nas cabeças dos alunos e, de algum modo, ser comparadas às nossas ideias através de um qualquer meio de compreensão diferente daquele por mim utilizado. Creio que tal não é possível. Já utilizámos o único meio ao nosso alcance – as nossas capacidades de dar um sentido às coisas para criar este quadro das ideias dos alunos.

Embora pense que criámos um quadro convincente e de grande utilidade, não podemos realmente saber quais são as ideias dos outros em sentido absoluto. Visto que, aparentemente, somos capazes de lidar com o mundo no nosso papel de professores sem este conhecimento absoluto das ideias dos alunos, o facto de não nos ser possível obter tal conhecimento absoluto não é relevante.

Alguns alunos saem de uma aula como a acima descrita com uma noção diferente das forças e noções diferentes sobre si próprios e a sua relação com o conhecimento em ciência. Outros ficam, pelo menos, cientes da possibilidade de tais diferenças. Continuo a trabalhar no assunto com eles até ao fim do semestre.

A DISCREPÂNCIA DE METAS E MÉTODOS NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES

Todos nós necessitamos de estar cientes do papel que aqueles de nós que leccionam em faculdades de ciências desempenham a todos os níveis na preparação de professores. Se alguém que ensina metodologia ou filosofia num Departamento de Estudos decide que deseja que os seus alunos compreendam o método construtivista e possam utilizá-lo ou aplicá-lo no ensino, mas se depois eles forem expostos a estas ideias apenas numa ou duas cadeiras do curso, então pouco podemos esperar. Os alunos já tiveram mais de doze anos de ciência apresentada segundo o paradigma transmisscionista/realista e provavelmente a maior parte dos cursos de ciências que vão fazer, ministrados por «cientistas a sério» que ensinam numa faculdade de ciências, estará conforme ao ponto de vista transmisscionista/realista. *Como irão estes alunos ensinar ciências quando forem para o ensino?* Infelizmente, será provavelmente do mesmo modo como foram ensinados, não como os «ensinarão» a ensinar. Afinal de contas, é assim que o fazem os «cientistas a sério» e provavelmente como também o fazem o seu orientador durante o estágio e a maioria dos professores mais consagrados na escola onde ensinarem durante o seu primeiro ano como profissionais.

Embora as pessoas *possam* vir a ensinar e *ofizarem*, de maneira diferente daquela como foram ensinadas (encontram-se exemplos no presente livro), é óbvio que não o fazem apenas por ouvirem falar em alternativas. Podemos encontrar exemplos de professores que passaram a ensinar de modo diferente nas obras de Shifter e Fosnot (1993) e de Wood, Cobb e Yackel (1991). Estes exemplos têm em comum o desequilíbrio quanto à aprendizagem e uma faceta de imersão ou exposição prolongada e acompanhamento. Não podemos deixar de pensar que aprender os conteúdos ensinados de modo consistente com o ponto de vista construtivista, juntamente com cursos de metodologia, ajudaria no processo de vir a ensinar de modo diferente.

Existem muitos «cientistas a sério» no ensino que não *querem* ser incomodados com esta «coisa» da filosofia educativa. Não parecem compreender que aquilo em que os alunos acreditam acerca da natureza do conhecimento implicado na disciplina foi

aprendido por extensão a partir da sua única fonte de conhecimento de conteúdos – o modo como é tratado o conhecimento nos cursos de ciências. Encontra-se implícita uma filosofia do conhecimento neste tratamento, quer um professor pretenda ou não dar a entender algo.

Na física, a matéria é dada pelo professor universitário como conhecimento transmitido, organizado, hierarquizado e incontestável, sendo a sua fonte implícita as «capacidades mentais superiores» de homens caucasianos europeus e americanos, na sua maioria já falecidos. Bem, nem todos os professores universitários de física concordariam ser esta a sua visão do conhecimento em física. Mas provavelmente concordariam em que o modo como a física é tipicamente ensinada é o melhor para tratar o assunto e demonstrar como tudo se encontra relacionado, dentro do tempo disponível. Contudo, o facto de os alunos não mostrarem apreço pelas tentativas na aquisição do conhecimento nas ciências e o facto de parecerem ter uma visão fragmentada da disciplina são frequentemente lamentados pelos professores da universidade. *Como é que se pode vir a conhecer a natureza do conhecimento enquanto algo que é construído e experimentado se não se construir por si próprio qualquer conhecimento?* Parece-me agora ser absolutamente irrazoável esperar tal compreensão por parte dos alunos quando nunca se lhes mostrou coisa alguma a não ser o que é tipicamente mostrado na escola. Emilia Ferreira (1991) colocou muito bem a questão ao escrever: «Não existe uma prática pedagógica neutra. Todas elas se baseiam numa dada concepção do processo de aprendizagem e do objecto desse processo» (p. 46).

QUESTIONAR PRESSUPOSTOS NÃO EXPRESSOS

A esmagadora maioria dos cursos de ciências são conduzidos, consciente ou inconscientemente, dentro de um paradigma transmissivista/realista. Muitas pessoas boas, cheias de energia e conscienciosas levaram a cabo esta tarefa durante algum tempo. Na maior parte das realizações humanas encontramos uma noção específica que tem algum peso no nosso modo de pensar e de tomar decisões. Se uma teoria ou um conjunto de pressupostos funciona para explicar a maior parte das ocorrências com que nos

deparamos, então a teoria é considerada fiável. Se, na maioria das vezes, a teoria tem de ser remediada com excepções, é considerada duvidosa e posta de parte. Estudos comparativos das concepções antes e depois do ensino da física sugerem que não ocorre praticamente qualquer mudança nos alunos ao nível da compreensão como resultado do ensino das ciências típico (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992). Mais ainda, este resultado é independente do professor e da instituição de ensino, desde as escolas secundárias públicas à Universidade de Harvard. Se é necessário inventar explicações (desculpas) *ad hoc* para o facto de aquilo que estamos a fazer não dar resultado em mais de 99% dos casos, então talvez seja altura de começar a pôr em questão os pressupostos básicos transmissionistas/realistas do trabalho.

ALGUNS BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DO CONSTRUTIVISMO NA TOMADA DE DECISÕES QUANTO AO ENSINO

Quando há alguns anos comecei a ensinar o curso de física conceptual, compreendi que não podia deixar-me do modo como a ciência é ensinada nas escolas a não ser que fizesse o que achava ser o mais indicado com os finalistas do curso. Não podia dar palestras e mandá-los fazer verificações em laboratório que cobrissem todos os tópicos mais importantes da física num semestre. Esta abordagem do tipo «meter pela boca abaixo» não ia induzi-los a questionar as suas noções sobre os tópicos da física, sobre a natureza do conhecimento científico, ou sobre si próprios enquanto futuros professores de ciências que iriam ensinar crianças.

Era altura de me organizar e aplicar num curso completo as novas noções que tinha vindo a desenvolver ao longo dos anos para tentar solucionar o dilema descrito no início deste capítulo. Decidi que tinha de me concentrar em experiências que tivessem o potencial de conduzir os alunos a um estado de desequilíbrio, dando-lhes, em seguida, «espaço» para encontrarem respostas que se enquadrassem. Isto significava que tinha de criar cenários nos quais fosse seguro estar «errado» várias vezes, nos quais o exame

crítico das próprias ideias e das dos outros fosse encorajado e seguro e nos quais os alunos pudessem colaborar. Uma cobertura total não permitiria que no final ficassem com algo útil, por isso decidi demorar um certo tempo em alguns tópicos dos quais sabemos que há hipóteses de mudança conceptual.

O resultado de agir baseado na decisão de mandar a tradição às urtigas e agir como me parecia fazer mais sentido têm sido sete anos das experiências mais excitantes, compensadoras e intelectualmente estimulantes no ensino e na aprendizagem que já tive. Mudou a minha visão do que constitui a compreensão dos tópicos na minha área e do modo como as pessoas começam a entendê-los. Tenho o maior respeito pelo intelecto que existe em cada um de nós, e tenho sido recompensado pela resposta de inúmeros estudante quanto a esta visão sobre si próprios.

Claro que ainda existem aqueles alunos em idade universitária que apenas pretendem as respostas e que lamentam o facto de eu ter decidido fazer as coisas de maneira diferente. Mas o desafio de conhecer *estes* alunos suficientemente bem para penetrar nas suas mentes e facilitar-lhes o estado de desequilíbrio também é entusiasmante. Estou convencido que, quer o compreendam quer não, muitos dos alunos encararam com maior profundidade as suas próprias ideias e os fenómenos do que os seus pares que não passaram por uma experiência semelhante. Quando inventamos uma ideia por nós próprios, ela torna-se muito mais parte de nós do que quando decoramos uma descrição elaborada por outra pessoa.

FORMANDO PROFESSORES

Se existe uma chave para reinventar o nosso sistema educativo, ela encontra-se naquilo em que os nossos professores acreditam relativamente à natureza do saber. Sem reexaminar e alterar as crenças quanto à natureza do saber não haverá uma mudança substancial na tarefa da educação e ficaremos num ciclo vicioso. Impulsionados pela discrepância entre os resultados dos nossos alunos em testes padronizados e os dos alunos de outros países, procuramos soluções. Ao constatar que os alunos dos outros países passam mais tempo a estudar as disciplinas na aula, pedimos aos

nossos alunos que passem mais tempo a fazer trabalhos. (Assemelhar-se-á isto a um dos recentes esforços a nível nacional em relação aos currículos?) Isto requer que os professores dos anos mais atrasados tenham um maior conhecimento dos conteúdos. Afinal de contas, se não tiverem, como poderão eles transmiti-lo aos seus alunos? A resposta é pedir aos professores que se formem numa disciplina *a sério*. (Parecem recomendações recentes, amplamente divulgadas?) O resultado será mais alunos ensinados da maneira tradicional durante um maior período de tempo. Se já afastamos montes de alunos das ciências, pensem o que acontecerá se os mantivéssemos durante mais três ou quatro anos a serem ensinados do mesmo modo!

A falha nesta argumentação reside na visão do conhecimento transmisscionista e/ou realista subjacente a esta linha de pensamento, que propôs a sua solução para a crise do nosso sistema educativo. Os exames utilizados para comparar os nossos alunos testam a aquisição de capacidades ou informação memorizáveis e não as concepções que o aluno possui. De facto, o fracasso do ensino normal das ciências em exercer um efeito nas crenças dos alunos sobre o mundo é notada a nível nacional e internacional (Pfundt & Duit, 1994). Mais tempo dispensado a realizar trabalhos terá certamente um bom efeito, mas deve ser despendido nas tarefas *necessárias*. Deve incluir o tipo de mudanças no ambiente e bases para a tomada de decisões na sala de aula por parte do professor, que se encontram ilustradas nos exemplos deste livro.

Será que levar os professores a especializarem-se numa disciplina *a sério* irá provocar nos seus futuros alunos uma mudança desejável e suficiente? Não no que creio ser importante. Será que fazer os alunos passarem mais tempo a fazer trabalhos irá criar nestes uma mudança desejável e suficiente? Porque haveria de fazê-lo, se nunca é gasto nenhum tempo com as noções que os alunos têm do mundo? As respostas não são assim tão simples.

Apenas poderemos modificar a visão que os alunos têm acerca do conhecimento quando entram na faculdade, se conseguirmos produzir uma experiência suficientemente concentrada numa vasta gama de temas, na qual os alunos sejam encorajados e apoiados num exame da natureza do seu conhecimento sobre os fenómenos. Sei que os meus colegas neste esforço se apercebem

REFERÊNCIAS

- de que, para tal, será necessário mais que uns cursos de formação de professores. Mudar a maneira como os professores são ensinados é um dos passos necessários para quebrar o ciclo. Se conseguirmos que os professores questionem os pressupostos silenciosos subjacentes à prática actual, então é possível modificar substancialmente essa prática. O ensino nas faculdades de letras e ciências deve dar início a este processo, questionando os pressupostos não expressos e examinando em seguida a sua prática à luz das conclusões a que chegarem.
- Termino com uma citação de Arnold Arons (1990), Professor Emeritus de Física na universidade de Washington:
- Desejo enfatizar energeticamente que os professores com incapacidades [para preparar adequadamente os alunos do secundário para estudos posteriores] não são os culpados. A irresponsabilidade está nas nossas mãos nas faculdades e universidades. Nós perpetuamos a inadequação... Fomos nós que fizemos os professores tal como eles são. (p. 324)*
- Agradecimento.* Além dos meus colegas, encontro-me em dívida para com a National Science Foundation pelo apoio que prestou a parte do trabalho que conduziu às ideias acima expostas através das subvenções números: MDR-8950313, MDR-9153989 e MDR-9154015. As opiniões aqui expressas não coincidem necessariamente com as da National Science Foundation.
- ARONS, A. (1990). *A guide to introductory physics teaching*. Nova Iorque: Wiley.
- BRASHEL, H. (1987). The effect of real-time laboratory graphing on learning graphic representations of distance and velocity. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), 385-395.
- CAMP, C., & CLEMENT, J. (1994). *Preconceptions in mechanics*. Dubuque, IA: Kendall/Hunt.
- DACHER, Z. (1994). Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Science Education*, 78(6), 601-616.
- DISESSA, A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2&3), 105-226.
- DYKSTRA, D., BOYLE, F., & MONARCH, I. (1992). Studying conceptual change in learning physics. *Science Education*, 76(6), 615-652.
- FERRERO, E. (1991). Literacy acquisition and the representation of language. In C. Kamii, M. Manning, & G. L. Manning (Eds.), *Early literacy: A constructivist foundation for whole language* (pp. 31-55). Washington, DC: National Education Association.
- HESTENES, D., WELLS, M., & SWACKHAMER, A. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158.
- MINSTRELL, J. (1982). Explaining the «at rest» condition of an object. *The Physics Teacher*, 20(1), 10-16.
- PRUNDT, H., & DRUIT, R. (1994). *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education* (4^a ed). Kiel, Alemanha: Institute for Science Education, University of Kiel.
- SHAFFER, D., & FOSNOT, C.T. (1993). *Reconstructing mathematics education: Stories of teachers meeting the challenge of reform*. Nova Iorque: Teachers College Press.
- SMITH, J. P., DISESSA, A., & ROSCHELLE, J. (1993). Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. *The Journal of the Learning Sciences*, 3(2), 115-163.

- THORNTON, R. (1994). Enhancing and evaluating students' learning of motion concepts. In A. Tiberghien & H. Mandl (Eds.), *Physics and learning*. Nova Torque: Springer-Verlag.
- WOOD, T., COBB, P. & YACKEL, E. (1991). Change in teaching mathematics: A case study. *American Educational Research Journal*, 28(3), 587-616.