

CAPÍTULO 4

UMA PERSPECTIVA CONSTRUTIVISTA DO ENSINO E DA APRENDIZAGEM DAS CIÊNCIAS

CANDACE JUIXAN
E ELEANOR DUCKWORTH

Ao trabalhar com professores estagiários sobre um problema relacionado com espelhos, Judy, uma bioquímica veterana, reconsiderou aquilo que sabia sobre as ciências e o modo como aplicar esse conhecimento à mudança que se operara na sua carreira ao mudar da prática das ciências para o ensino das ciências.

Durante o nosso trabalho com espelhos na sala de aula, eu sentia que «sabia imenso» sobre espelhos. Relativamente à questão sobre onde colocar o espelho na parede (de modo a que duas pessoas se pudessem ver-se uma à outra), eu já «sabia» como resolver o problema porque eu «sei» que «o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão». Simples, pensei eu. Trabalhámos duas vezes com espelhos. (Em ambas as vezes) tentei respetosamente não interferir e ouvir o pensamento dos outros elementos do meu grupo à medida que ajustávamos os pequenos espelhos e a corda.

Depois do trabalho acabado, um dos membros do grupo comentou «o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão». Mas estas palavras não a ajudaram em nada, embora ela soubesse como recitá-las. Isto desconcertou-me e intrigou-me. (Essa pessoa), uma professora de ciências de 20 anos, confessou-nos que pensara partilhar porque ela não a ajudava a pensar sobre o problema. Ela não estava a ver a ligação, embora soubesse que tinha que

haver uma. Fiquei extremamente espantada com isto. Como é que estas palavras, que eu entendia como sendo uma afirmação directa e verdadeira daquilo que estávamos a ver, podia não ter significado para outras pessoas que estavam a trabalhar comigo? Qual é a mensagem disto?

FALLOWS, 1993, pp. 4-5

A experiência de Judy ilustra uma tensão comum nos professores e alunos de ciências: o facto de conhecer as palavras científicas utilizadas para explicar um fenómeno pode não reflectir necessariamente uma compreensão daquilo que as palavras descrevem. Quando Judy, desta vez numa outra ocasião, voltou ao problema dos espelhos, descobriu novamente que a sua frase mágica não tinha significado para outras pessoas.

A seguir... Melissa disse... «Se você estiver a 45 graus, então eu tenho que estar também a 45 graus». Disse-lhe aquela pequena frase e vi que ela continuava sem perceber. Embora me parecesse que ela a tinha recitado perfeitamente bem, ela ainda não entendia as palavras da minha pequena lição «o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão». Não significava nada para ela. Eu nem queria acreditar. Havia muito mais que se lhe dissesse sobre espelhos do que eu pensava! E aquela frase, que eu pensava que era uma pura e simples explicação, não era afinal tão pura e simples.

FALLOWS, 1993, p. 6

Nestas últimas décadas, vários educadores exploraram a constatação de Judy de que «uma pura e simples explicação não é afinal tão pura e simples» (Hawkins, 1978; Duckworth, 1986). Como Driver (1983) observa, uma dificuldade em muitas aulas de ciências é a de que «as ligações que são aparentes a um cientista estão longe de ser óbvias para um aluno. No final de contas, é a coerência que é percebida pelo aluno que é importante na aprendizagem» (p. 2). Ela prossegue, sugerindo que as ideias dos alunos são tão importantes para explorar na aula como as teorias científicas convencionais. A sugestão de Driver pode parecer estranha se se assumir que o objectivo de uma aula de ciências é o de providenciar explicações claras e pormenorizadas do pensamento científico convencional. No entanto, poderemos argumentar que o objectivo de uma aula de ciências deveria ser o de encorajar

um entendimento mais completo do funcionamento do mundo físico, que requer a articulação e a investigação tanto das nossas próprias ideias como das ideias dos outros.

Como já alguns de nós escreveram antes (Duckworth, Easley, Hawkins e Henriques, 1990), é o aluno apenas quem faz as ligações de uma forma significativa e são estas ligações que deveriam interessar ao professor.

O mundo pode muito bem existir por si, mas o conhecimento sobre ele, quer adequado quer inadequado, pertence a cada um de nós. O conhecimento com que o professor se deve preocupar é o do estudante. É este conhecimento que ele quer ver mais desenvolvido, e é com este conhecimento que o professor tem de trabalhar. Os alunos constroem conhecimento adicional ao modificar aquele que já possuíam. (p. 24)

Estas noções de que a aprendizagem deve ser activa e internamente construída pelo aluno e não completamente explicada por qualquer outra pessoa não são novas. Nos seus numerosos estudos, Jean Piaget descreveu em pormenor exemplos da construção do conhecimento pelas crianças quando actuavam com objectos. As suas ideias constituem um fundamento importante para toda a pesquisa nesta área, como já foi referido neste volume.

De facto, a maneira como a criança constrói uma compreensão do modo como as coisas funcionam não é significativamente diferente do modo como os adultos edificam a sua. As nossas crenças acerca da maneira como o mundo funciona formam-se em torno dos significados que construímos a partir dos dados da nossa experiência. O trabalho dos cientistas envolve este mesmo processo de construção de significado. Albert Einstein (1938) considerava a ciência não como uma compilação de leis e um catálogo de factos, mas sim como uma criação do espírito humano.

A medida que exploramos ideias, tais como onde colocar um espelho de modo a que duas pessoas se possam ver uma à outra, temos, em primeiro lugar, que entender o problema antes de podermos considerar a utilidade desta ou daquela teoria científica, ou até mesmo ver a relação entre as teorias e os problemas em questão. A complexidade do desenvolvimento do conhecimento não é uma ideia nova na literatura pedagógica. Já John Dewey (1902) salientava a importância dos conhecimentos de um

estudante se desenvolverem a partir da experiência. Uma relevância que é igualmente dada em numerosos currículos de ciências baseados na experiência (como por exemplo, Elementary Science Study (ESS), Science-A Process Approach (SAPPA), Science Curriculum Improvement Study (SCIS), Introductory Physical Science (IPS), Biological Science Curriculum Study (BSCS), o Physical Science Study Committee (PSSC), Full Options Science Systems, Science for Life and Living, Insights, e a National Geographic Kids Network)*.

E, no entanto, importante fazer uma distinção entre providenciar experiências aos estudantes e apoiar a sua compreensão em desenvolvimento. Elstgeest (1985) ilustra essa diferença com uma história sobre «uma maravilhosa lição de ciências virtualmente (transformada) em ruínas». Apesar de a professora acreditar firmemente na investigação por parte dos alunos, as suas acções no final da aula acabaram por dificultar, em vez de dinamizar, a compreensão emergente dos estudantes. Existem outros currículos baseados na experiência que encarnam também esta contradição.

Era uma turma de raparigas dos primeiros anos do secundário que, pela primeira vez, tinham livre acesso ao manuseamento de baterias, lâmpadas e fios eléctricos. Estavam em constante actividade e havia gritos de surpresa e satisfação. As discussões eram resolvidas com um «Está a ver?» e os problemas solucionados com «Vamos experimentar!». Não houve praticamente combinação nenhuma de baterias, lâmpadas e fio que não tivesse sido tentada. Então, no meio do rebuliço, a professora bateu palmas e, de giz em riste, pronta para escrever no quadro, anunciou: «Meninas, vamos agora resumir o que aprendemos hoje. Emmy, o que é uma bateria? Joyce, o que é um terminal positivo? Lucy, qual é a maneira correcta de desligar um circuito?» E o diagrama «correcto» era habilmente desenhado e legendado, e os símbolos «correctos» eram adicionados, enquanto Emmy, Joyce, Lucy e as suas colegas se remelham, desalentadas, ao silêncio e à submissão, copiando obedientemente o diagrama e o sumário. Aquilo que elas haviam constatado parecia agora destituído de importância. As perguntas não estavam de modo nenhum relacionadas com o seu trabalho. A experiência estimulante com as baterias e demais equipamentos, que lhes

* Currículos específicos sem tradução correspondente em língua portuguesa.

deveria ter dado muito que falar, pensar e perguntar, não foi utilizada para trazer ordem e sistematização à informação que elas tinham realmente recolhido.

ELSTGEEST, 1985, pp. 36-37

Embora outros possam explicar o sentido que retiram de uma ideia específica, cada indivíduo constrói uma interpretação pessoal. Para muitos educadores, o enfoque significativo, proposto por Bussis, Chittenden, Amarel e Klausner (1985), é o de determinar «aquilo que a pessoa aprendeu e não se a pessoa aprendeu» (p.15).

Construir um conhecimento exige que os estudantes tenham oportunidade de articular as suas ideias, de testar essas ideias através da experimentação e do debate, e de considerar relações entre os fenómenos que estão a examinar e outros aspectos das suas vidas.

TRABALHANDO COM BALÕES

O relato que se segue, de um trabalho com balões cheios de hélio, tem um objectivo duplo. Por um lado, pretendemos mostrar um exemplo do desenvolvimento complexo do que pode parecer serem ideias bastante lineares. Por outro, constitui um exemplo do tipo de pesquisa que pensamos ser importante enquanto base para o desenvolvimento de um currículo de ciências que respeita as maneiras próprias de cada aluno de construir os seus conhecimentos. (Este tipo de pesquisa é analisado mais pormenorizadamente em Duckworth, 1987 (pp. 134-140) e 1991 (pp. 12-23).

O conjunto de ideias, no caso vertente, dizia respeito à noção de equilíbrio – estável e instável. (Não é uma opção totalmente aleatória para um livro sobre o construtivismo!). Pretendíamos estudar a compreensão de alunos do secundário sobre este conjunto de ideias e ver aquilo que está envolvido no desenvolvimento dessas ideias. O nosso interesse original fora o equilíbrio de um sistema ecológico e optámos por começar com um problema mais simples. Fomos apanhados de surpresa pelas dificuldades que surgiram na apreensão do funcionamento do sistema autorregulador, neste caso o fio. A distinção entre equilíbrio estável e instável nunca se tornou explícita nas nossas três sessões, embora tenha sido claramente criada uma base para ela.

Conduzimos este trabalho com estudantes do secundário (Duckworth, Julian e Rowe, 1985). Um balão «padrão» foi cheio por forma a que pairasse a uma altura de cerca de 3 pés (cerca de 90 cm) do chão preso a várias alturas de fio médio. O problema inicial apresentado aos estudantes era como alterar o balão «de trabalho» de modo a que ficasse ao nível do balão «padrão» (Figura 4.1). Para conseguirem fazer isto, os estudantes teriam ou que alterar o peso que o balão tinha que levantar, para tal acrescentando ou cortando fio, ou que juntar um balão «auxiliar» ao balão «de trabalho». Qualquer que fosse a estratégia ou combinação adoptada, o entrevistador tentou, por meio de perguntas, conseguir que os estudantes verbalizassem o seu pensamento de forma a tornar esse raciocínio mais claro, tanto para o entrevistador como para os próprios estudantes. Por exemplo, a conversa que se segue revela o raciocínio de um estudante do 9.º ano sobre a razão por que um nó no fio faria o balão baixar.



Figura 4.1. – À esquerda um balão de trabalho e à direita um balão «padrão».

(Sam dá um nó no fio. O balão baixa visivelmente)

Entrevistador: Porque é que acha que isto aconteceu?

Sam: Bem, por causa do peso.

Entrevistador: Do peso?

Sam: Quando se dá um nó, ele fica mais pesado...

Entrevistador: Mas outras pessoas diriam que o peso é o mesmo, com nó ou sem nó; é o mesmo fio. Isto faz sentido para si?

Sam: Mmmm. (pausa) Talvez porque o fio é mais... mais... (Faz um gesto com a mão)... não mais pesado, mas... é como se em

vez de fio tivéssemos papel, e uma folha fosse lisa e a outra toda amachucada. A que estava amachucada caía logo, mas a folha lisa caíria assim (Sam faz o gesto de uma pena a descer no ar). Porque há mais resistência.

Quando Sam conseguiu articular as suas ideias acerca do que estava a acontecer, o entrevistador tentou fazer perguntas que forçassem Sam a pensar tão claramente quanto possível sobre essas ideias.

Entrevistador: Como é isso da «resistência»?

Sam: Há mais ar a empurrá-la, e por isso ela cai mais devagar do que a outra.

Entrevistador: Portanto, o que está a dizer é que o nó no fio faz o balão cair mais depressa?

Sam: Sim.

Entrevistador: Mas isso faria com que ele caísse mais para baixo ou apenas mais depressa?

Sam: Mmmm. Faria com que caísse mais depressa; isso do mais baixo não sei. Podíamos experimentar. (Sam faz a experiência com dois balões, acrescentando a um deles uma folha de papel lisa e ao outro uma folha amachucada do mesmo tamanho da primeira. Faz várias tentativas, em cada uma delas reduzindo para metade a dimensão das folhas. De todas as vezes o balão cai no chão sem qualquer diferença visível de velocidade.)

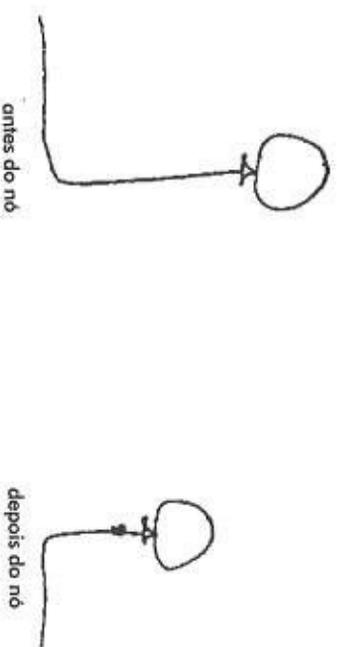


Figura 4.2. – Na primeira sessão, é pedido aos alunos que igualem a altura de um balão «de trabalho», à direita, à de um balão «padrão», à esquerda.

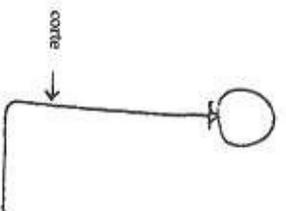
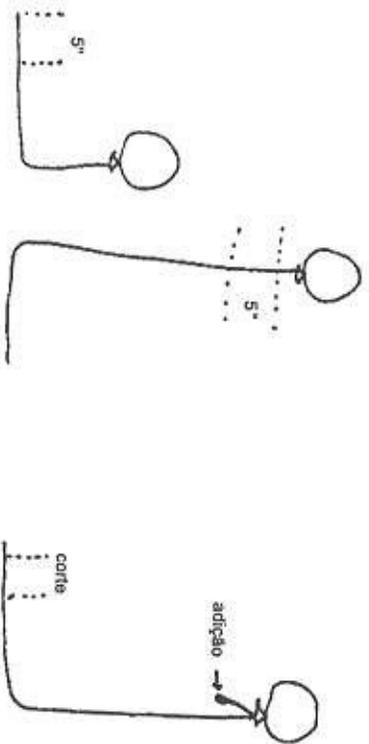


Figura 4.3. – Os alunos cortam então 2 polegadas (50,8 mm), a cortar do chão, do fio do balão «de trabalho».



Figuras 4.4 (à esquerda) e 4.5 (à direita) – Outras ideias dos alunos para aumentar a altura do balão «de trabalho»: Na Figura 4.4, o fio é cortado em ambas as extremidades. Na Figura 4.5, 5 polegadas cortadas da extremidade inferior são adicionadas à extremidade superior.

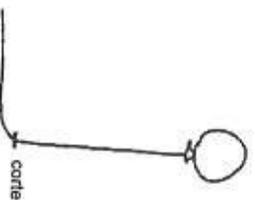


Figura 4.6 – Um teste à ideia de que se o fio que está no chão for cortado o balão não se moverá.

Na narrativa que se segue, cortámos a maior parte das intervenções do entrevistador, uma vez que desempenhavam a mesma função. A descrição é um relato detalhado de três sessões com duas estudantes do 12.º ano. O seu caso ilustra o desenvolvimento do raciocínio dos estudantes à medida que vão articulando as suas ideias e criando experiências para testar essas noções. Kim, uma das estudantes, é uma presença constante durante as três sessões. Ellen aparece apenas na primeira e Tina está presente na segunda e na terceira.

PRIMEIRA SESSÃO

Nesta sessão pedimos a Kim e a Ellen para fazerem com que um balão «de trabalho» amarelo, que estava preso a um fio quase ao nível do chão, igualasse a altura de um balão «padrão» verde que estava um pouco mais alto a partir do chão (Figura 4.2).

Kim sugere que se corte o fio para fazer com que o balão amarelo suba. Ellen duvida que isso faça alguma diferença. Para o balão subir, ela acha que seria necessário acrescentar mais hélio. Concordam em testar a ideia de Kim, mas entretanto Kim corta o fio a cerca de 2 polegadas acima do nível do chão (Figura 4.3). Para surpresa de ambas, o balão sobe até ao tecto.

Ellen acrescenta mais fio ao balão para o trazer para baixo, dando nós na extremidade superior do fio original. Quando Kim os corta, reparam que o balão sobe ligeiramente. Kim interroga-se se o fio «mais próximo do balão» será «mais importante» do que o fio «mais afastado». Depois de as duas raparigas debaterem esta possibilidade, uma experiência começa a tomar forma na mente de Kim. Seria possível tirar, digamos, 5 polegadas da extremidade inferior do fio de um dos balões e 5 polegadas da extremidade superior do outro e comparar o efeito em cada balão (Figura 4.4)? Embora isto lhe começasse a parecer algo absurdo ainda em estádio de ideia, ela avança, quase involuntariamente, para a experiência.

Antes porém de cortar qualquer porção de fio, ocorre-lhe que poderia ser interessante voltar a conceber a experiência. Em vez de cortar o fio na extremidade mais próxima do balão, o que iria obviamente libertá-lo e fazer com que ele subisse até ao tecto, ela

decide colar 5 polegadas de fio retiradas da extremidade inferior do fio à extremidade superior (Figura 4.5).

Efectua a experiência e fica encantada quando vê o balão descer algumas polegadas.

Sim senhor! Lá conseguimos imaginar qualquer coisa! Pensámos que o peso mais perto do balão é mais importante do que o peso... sabe, o peso mais afastado do balão.

Kim avança então com a ideia – que se provará ser uma ideia válida – de que o balão pode sempre sustentar uma determinada quantidade de fio; ele simplesmente sobe ou desce até sustentar essa quantidade de fio. Ela pensa então que, se o balão está a sustentar a sua quota máxima de fio, a sua posição será constante desde que essa quota se mantenha constante, independentemente do modo como o fio está disposto. Esta ideia é consistente com o que ela descobriu até agora. Só que há ainda muitas arestas a limar, e este é o ponto principal das três sessões.

Kim decide explorar a ideia com um balão com 5 pés de fio. O balão flutua a cerca de 3 pés acima do solo, estando os restantes 2 pés de fio estendidos no chão. Kim pensou que o balão não se moveria se o fio que está estendido no chão, e que portanto não faz parte da quota, fosse cortado (Figura 4.6).

Ela recorda-se, no entanto, da primeira experiência, em que o balão subiu quando ela cortou o fio. Pensa que é provável que suceda a mesma coisa mas, mesmo assim, repete a experiência: corta o fio em X imediatamente acima do nível do solo e o balão sobe até ao tecto. Isto deixa-se completamente confusa. Porque é que o balão subiu quando o fio, que aparentemente não estava suspenso, foi cortado?

Isto não faz sentido... É realmente estranho... *(e depois com excitação)* É como quando se corta o cabelo a alguém que tem cabelo comprido e depois encaracola... Nunca mais vou olhar para um balão de hélio da mesma maneira!

O comentário sobre o cabelo recaptura o conjunto básico de relações envolvidas no hélio e na corda. O equilíbrio entre o peso do cabelo, que puxa para baixo, e a tendência para encaracolar,

puxando para cima, determina o local onde o cabelo se manterá estacionário. Não fica claro o modo como a ideia se relaciona com o facto de o balão ter subido até ao tecto. Nem Kim voltará explicitamente a esta comparação. No entanto, a sua excitação sugere que ela fez uma assimilação que era importante para si e que poderá muito bem estar subjacente a muito do seu raciocínio posterior sobre os fenómenos.

Após mais uma ou duas tentativas, a primeira sessão termina. A ideia central de Kim é a de que um dado balão pode sustentar um determinado peso de fio. Mas é ainda uma ideia pouco consistente. E, entre outras coisas, a posição do peso em relação ao balão parece também ter importância.

SEGUNDA SESSÃO

Ellen não está disponível para as sessões seguintes e Tina vem substituí-la. Depois de Kim ter mostrado a Tina algumas das coisas que fizera, perguntamos o que acontecerá ao balão se se der um nó no fio. Kim explica que ele «vai descer porque o peso ficará mais perto do balão». Que efeito é que dar um nó mais abaixo no fio terá? Kim afirma que ele «descerá mas menos». E se se der um nó no fio que está estendido no chão? Kim responde com segurança: «Nada. Não tem importância. Não passa de peso morto». Tina, que tem menos experiência com os balões, pergunta a Kim qual a razão das suas respostas: «Mas quando se dá um nó mais abaixo no fio, na parte que está pendurada, aumenta-se o peso?» «Sim», explica Kim, «está a levantar-se fio do chão para o ar».

Tina pensa nisto à sua maneira e chega mais ou menos lá. Porque se está a levantar...o nó. E, na realidade, está a acrescentar-se mais em comprimento – o que faz com que pese mais.»

Sugerimos uma experiência. Se pegarmos num balão prestes a tocar no chão e marcarmos o ponto de contacto entre o chão e o fio, segundo a teoria de Tina essa marca subirá quando dermos o nó e assim aumentará o comprimento. Damos o nó e não há alteração nenhuma na marca, mas o balão desce um pouco. Ela salva a face reconstituindo para si mesma qual tinha sido a proposta.

Tina – Ah, está bem. Está a ver, eu pensei que aquilo que tinha estado a fazer era apanhar o fio do chão e dar um nó, ganhando assim mais fio... Não percebi que estava... Portanto ele não pesaria mais.

Kim – Hmm... ele (o balão) está a descer porque o comprimento do fio é mais curto mas ainda pesa o mesmo. (Se) o comprimento do fio diminuisse ao cortá-lo, então pesaria menos e subiria. Mas o fio está a ficar mais curto, o que o está a puxar para baixo, percebe. E não pode puxá-lo para cima porque ele ainda pesa o mesmo.

Poderia parecer, nesta altura – especialmente devido à sua última observação – que Kim entendera a relação entre o comprimento/peso do fio e a altura do balão. Mas a ideia ainda não está muito clara. Em primeiro lugar há a seguinte questão:

Tina – Há alguma maneira de dar aqui um nó (indica um ponto perto da extremidade superior do fio) de modo a que o comprimento do fio entre o balão e o chão aumentasse?

Kim – Hmm. Só que não sei fazer isso.



Figuras 4.7 (esquerda), 4.8 (centro) e 4.9 (direita) – Uma experiência daquilo que ocorre quando os cordéis de ambos os balões são presos um ao outro.

Mas com a experiência seguinte a perplexidade mantém-se. Desviam a sua atenção para o outro balão cujo fio mal toca o chão. *Tina* propõe que deem um nó no fio. *Kim* e *Tina* em conjunto constroem a previsão de que o balão se manterá à mesma altura do chão sem que o fio toque no chão. Quando lhes perguntamos por que razão isso seria verdade, *Tina* replica que é porque o fio pesa o mesmo, quer com o nó quer sem o nó. Neste ponto poderia parecer que elas sabiam que o balão pode sustentar um peso fixo, mas elas falham a importância da influência reguladora do fio.

Dão um nó no fio e o balão desce até a sua extremidade ficar novamente a tocar o chão. Tanto *Kim* como *Tina* ficam surpreendidas com isto. Quando lhes perguntamos «Porque é que pensavam que o balão ficaria à mesma altura?», *Kim* responde: «Porque teria o mesmo peso... Mas agora o peso está mais próximo do balão... isto (é) uma hipótese para ele ter descido.»

Portanto, a ideia de que a quantidade de peso que o balão pode manter determina a altura do balão parece ser fundamental para elas. Se um nó altera a altura, então elas têm que procurar uma razão – e a razão que encontram é a velha noção de que um peso que se encontra mais próximo do balão «conta» mais.

Seguidamente começam a explorar aquilo que acontece quando os cordéis dos dois balões são presos um ao outro. Durante esta experiência *Kim* comenta, pela primeira vez e com espanto: «o fio parece que está sempre a tocar no chão». No decurso da ligação dos balões, a determinada altura elas prendem a extremidade «morta» do fio do balão verde (isto é, a extremidade que se encontra no chão) à extremidade superior do fio do balão amarelo (Figura 4.7).

Kim – Penso que o balão amarelo vai direitinho para o chão e o balão verde volta para onde estava (Figura 4.8)

(Ligam os cordéis como planeado e soltam os balões (Figura 4.9))

Vêem? O balão verde está à mesma altura que estava, sustendo o mesmo peso, e o balão amarelo está a meio caminho porque está a segurar... como... uma espessura dupla... Bem, estão os dois a suster a mesma quantidade de fio, certo? A mesma quantidade que sempre sustiveram. O verde está a segurar aquela quantidade de fio que é mais ou menos a mesma que sempre susteve – um pouco mais do que a altura da cadeira. Este amarelo segura a mesma quantidade que sempre segurou porque está a metade da altura e está a suportar duas vezes o número de cordéis. Portanto parece que os dois podem segurar a mesma quantidade de fio...

Tina: Mas porque é que o nó de há pouco o fez descer?

Kim: Porque estava a segurar mais fio.

(Como veremos, a resposta não lhe pareceu inteiramente satisfatória)

Tina: Mas se tivermos um único balão com a mesma quantidade de fio, quase a tocar no chão, e usarmos esse fio para dar um nó...

Kim interrompe e explica que estão a pensar em duas ideias diferentes e convence *Tina* a abandonar a sua questão do nó e a

testar a hipótese – ainda não confirmada – de que o balão pode sempre sustentar a mesma quantidade de fio. Pegam num balão cujo fio toca praticamente no chão. Dobram o fio em metade e vaticinam que o balão descerá para metade da sua altura original, permitindo que o fio fique novamente a tocar no chão. E é isso que acontece.

Kim – Uau! Acertei em cheio!

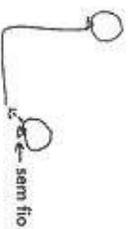
Tina – Vamos dobrar outra vez o fio e ver se o balão desce outra vez metade da altura. Penso que é isso que vai acontecer.

Fazem isso e ficam satisfeitas por ver que o balão desce como previsto. Kim sugere que prendam todo o fio ao balão e é isso que faz com fita-cola. Quando o solta, o balão cai no chão, ficando sobre a almofada de fio. Kim explica que esta experiência demonstra que o balão vai sempre até ao fim do fio qualquer que seja a configuração desse fio.

É importante notar que a observação que deixara Kim confusa anteriormente – o facto de o fio tocar sempre no chão – parece ter deixado de ser causa de perplexidade. Neste ponto, parece ser um dado adquirido, mas não está claro se é um passo em frente se um passo atrás na sua compreensão.

Tina não está tão segura como Kim de que isto é simplesmente uma questão de quantidade de fio. Parece pensar ainda que o nó, ou o fio dobrado têm mais impacto: «Mas desde que tenha peso suficiente. Porque, quero dizer, se fosse só um fio desse comprimento, ele não iria até ao fim do fio.»

Este é precisamente o ponto de onde elas partiram – mas nenhuma delas o refere. As suas experiências parecem confirmar que o balão é sempre capaz de sustentar a mesma quantidade de fio. Mas ainda parecem relutantes – pelo menos Tina – em desistir da ideia de que a proximidade desse peso com o balão é, de certo modo, importante.



Figuras 4.10 (esquerda), e 4.11 (direita) – A ligação dos dois balões com um fio e os resultados.

TERCEIRA SESSÃO

No início da terceira sessão, Tina ainda pensa na duplicação da espessura e na diminuição para metade da altura. Enquanto debate estas ideias, diz:

Penso que é como... se, quando estamos a andar de ba-loiço, tivermos o mesmo peso em ambos os lados, é divertido. Mas se uma das pessoas for mais pesada, já deixa de ser divertido porque vai tudo para um dos lados. Mas se as pessoas se sentarem mais para o centro, então já o conseguem equilibrar... Estão a ver o que eu estou a dizer? É a ideia de equilíbrio... O equilíbrio é o hélio que sobe e o fio que desce... Acho que o equilíbrio é o ponto em que o balão pára, quando deixa de se mover.

Aqui, Tina está a aproveitar a sua compreensão de uma outra experiência – tal como Kim fizera anteriormente com o cabelo encaracolado – para clarificar o seu raciocínio. Parece ser novamente uma assimilação apropriada e útil.

Após mais algumas experiências com cordéis duplos, envredam por outro caminho – ligar os dois balões ao prender a extremidade «morta» de fio de um dos balões a um segundo balão (Figura 4.10). Não têm a certeza do que resultará dali. Soltam os balões e surge uma forma em «V» (Figura 4.11). Tina diz: «Isto é a mesma quantidade de fio que ambos podiam sustentar, unida no meio. Qualquer deles faria o mesmo se cortássemos aqui no meio.»

E então, perguntamos, o que é que aconteceria ao «V» se cortássemos cerca de duas polegadas de fio e voltássemos a ligar os balões? Continuariam a formar um «V»? E, em caso afirmativo, onde? No chão? A meio caminho? No tecto? Kim diz: «Faria sentido se fossemos direitinhos para o tecto. Porque tanto um como o outro teriam menos fio para os prender ao chão. Portanto se não vão para o chão, podem muito bem subir até lá acima.» Ajustam o fio e os balões sobem até ao tecto causando-lhes surpresa e satisfação. Tina anuncia que «está contente por eles não terem tocado o chão» já que isso «teria sido estúpido».

Isto constitui o primeiro sinal de terem compreendido a instabilidade do equilíbrio quando não há fio suficiente – algo completamente diferente do seu espanto quando o balão subiu

para o tecto da primeira vez. Terão pensado que era possível conseguir que o balão pairasse a meio caminho? Kim pensa que não, devido «à natureza do hélio. O hélio sobe a não ser que haja suficiente gravidade para o fazer descer». A imagem do baloço foi útil aqui?

Kim – Não sei. Não se pode pairar num baloço.

Tina – Sim, podemos colocar-nos num ponto onde haja equilíbrio.

Entrevistador – E isso é possível com balões?

Tina – Sim. OK. Portanto, temos o equilíbrio e depois sai-se do equilíbrio... é só... Não se consegue ficar com uma pessoa em cima e a outra pessoa em baixo sem tocar no chão. Quando o equilíbrio é perturbado – mesmo que muito pouco – vem-se sempre para baixo.

Quando a campainha toca e elas se prepararam para partir, Kim comenta que «isto foi fixe» e diz esperar que «não tenha sido a última vez.»

DEBATE

A última frase de Tina capta a verdadeira essência do equilíbrio instável. É uma boa maneira de compreender o que acontece a um balão único – se tentássemos encontrar a quantidade certa de hélio. No entanto, ao longo destas três sessões, nem Kim nem Tina debateram o problema de como é que o facto de ter um fio longo permitiu ao balão permanecer a uma altura aproximadamente constante a partir do chão.

Na nossa experiência também encontramos muito poucas pessoas que tivessem reparado ou fossem capazes de articular a diferença entre um baloço – que, em repouso tem sempre uma das extremidades a tocar no chão – e uma balança – que, em repouso, permanece na horizontal. (É acreditamos que o paralelismo com a estabilidade ou instabilidade de novas ideias não é difícil de encontrar).

As três sessões (que envolveram algumas experiências que não incluímos neste relato) forneceram-nos uma ideia das questões levantadas por alunos do secundário ao tentarem compreender

alguma forma de equilíbrio. Elas revelaram-nos algumas das dificuldades, alguns dos pontos de ligação e algumas questões-chave. Por exemplo, mostraram-nos algumas das forças às quais a ideia aparentemente simples e, no entanto, elegante, era vulnerável; a quantidade de tempo necessário para as tomar todas em consideração, e algumas outras experiências, cabelo e baloços, que os estudantes utilizam para os auxiliar a pensar sobre o equilíbrio. Revelaram-nos também que este é potencialmente um bom campo de exploração para os estudantes do secundário.

Inhelder e Piaget (1958) salientaram a interação entre o grau de adequação das noções dos jovens sobre um fenómeno e o grau de adequação dos seus meios de experimentação para verificarem as suas ideias. As indicações que daqui se retiram é que atingimos o nível certo. Kim e Tina foram capazes de manter claro nas suas mentes qual o aspecto que queriam trabalhar num dado momento e criaram experiências que esclareceriam esse aspecto específico. E analisaram as implicações de cada uma das suas ideias. Esta capacidade para continuar a focar uma coisa, e uma coisa de cada vez, está intimamente ligada à capacidade para desenvolver uma teoria abrangente sobre os fenómenos. E, significativamente, elas divertiram-se bastante ao fazê-lo.

Uma preocupação que este tipo de pesquisa levanta é que os estudantes podem sentir-se frustrados pelo tempo e atenção consideráveis exigidos, e que podem preferir obter o conhecimento sobre ela através da transmissão de preferência à construção. Tal como uma das autoras escreveu anteriormente (Julyan, 1989), a ciência-como-vocabulário requer menos esforço tanto por parte do professor como do aluno, mas também proporciona menos recompensas.

Os estudantes têm consciência da diferença e acreditamos que, se lhes fosse dada a opção, também eles se empenhariam na compreensão. Este ponto foi confirmado por uma estudante universitária, Pam, que participava neste mesmo estudo dos balões. Esta estudante continuava a ficar surpreendida e frustrada pelas acções do balão, e a sua frustração por não compreender era muitas vezes visível. O professor que trabalhava connosco neste estudo estava a ficar preocupado com a frustração de Pam e começou a pedir-nos que «disséssemos a resposta» para aliviar a tensão intelectual.

Na sessão seguinte, aparentemente seguindo a deixa, Pam virou-se para nós exigindo saber se tencionávamos ou não dizer-lhe «a resposta». Qual era a pergunta? – perguntámos. Perante isto ela pareceu ficar momentaneamente atrapalhada, mas depois afirmou que queria saber por que razão os balões de hélio se comportavam daquela maneira em todas as experiências que ela realizara. Respondemos que, embora estivéssemos dispostos a responder à sua pergunta, queríamos certificar-nos daquilo que ela pretendia saber. Quereria ela as nossas palavras para explicar os fenómenos ou preferia compreendê-los por si própria? Houve uma pausa longa e pungente na sala. Por fim, virou-se para nós e disse que o que desejava *não* era palavras, ela queria era realmente saber. Concordámos que à sua compreensão era igualmente o nosso objectivo e que continuaríamos todos a trabalhar para esse fim, mas que levaria tempo.

Embora a maioria dos estudantes não consiga articular o dilema com tanta clareza como esta estudante, muitos deles partilham este desejo de compreender e não apenas de saber as palavras certas. Uma forma de promover esta compreensão é dar aos estudantes oportunidades para praticarem nas suas aulas de ciências, para se tornarem participantes na construção do seu próprio conhecimento. No entanto, dada a abordagem tradicional da aprendizagem, aqueles que estão interessados em apoiar uma abordagem construtivista deverão estar preparados para uma relutância inicial e momentos de frustração visível, independentemente da idade ou da inclinação do estudante.

CONSTRUTIVISMO PARA PROFESSORES

Durante um *workshop* de Verão, uma das autoras (Julyan) teve um exemplo ilustrativo das formas como tanto os professores como os estudantes podem sentir a frustração e a exaltação de uma experiência construtivista. O objectivo principal do *workshop* era desenvolver o conhecimento dos professores sobre as plantas e fornecer sugestões de modos de incorporar as investigações sobre plantas no currículo do ensino primário. Durante mais de duas semanas, o *workshop* foi constituído por palestras de botânicos, recolha de amostras do arboreto e a experimentação de diversas

actividades na sala de aula. O nosso papel era o de introduzir o construtivismo no *workshop* em duas sessões de três horas.

Na primeira sessão, os professores trabalhavam em grupos, concentrando-se cada um dos grupos numa parte diferente da planta (raízes, folhas, flores e tronco). Os professores faziam uma lista daquilo que pensavam que sabiam e daquilo que era um mistério para eles sobre essa parte da planta e, em seguida, criavam um grande desenho que ilustrava as suas convicções – e, em alguns casos, revelavam as suas mistificações. No fim da manhã, cada grupo apresentava o seu desenho e as suas ideias sobre a função daquela parte específica da planta. De pé, face aos seus desenhos, grandes e, por vezes, impressionistas, os professores, com considerável sentido de humor, partilhavam os seus mistérios. Que quantidade da raiz se pode cortar sem matar a planta? A mesmas espécies de árvore possuem um padrão diferente da raiz (perto ou longe da superfície) em condições ambientais diferentes? De que forma é que a casca da árvore se adapta a um diâmetro crescente? Como é que uma semente entra no fruto? Embora alguns professores começassem a falar das suas mistificações de forma autodepreciativa, a sua seriedade aumentava à medida que as questões eram consideradas legítimas e constituíam igualmente motivo de perplexidade para outros. Através destas conversas descobrimos que havia diferenças de opinião sobre as funções das várias partes. Estas divergências não eram resolvidas com uma resposta «correcta», mas era antes solicitado aos professores que continuassem a debater essas opiniões diferentes à medida que prosseguiam com o seu estudo das árvores.

No fim da sessão, Julyan sugeriu que, já que iriam trabalhar com os cientistas e passar tempo a observar árvores durante a semana seguinte, eles recolhessem alguns dados para apoiar as suas ideias sobre as funções e começar a responder às suas interrogações. Uma professora ficou *muito* zangada com a sugestão desta tarefa. Por que razão, perguntou, é que as respostas não eram dadas já? Julyan explicou que haveria muitas ocasiões, durante as duas semanas do *workshop*, em que outros lhes dariam as respostas, mas que o trabalho desta fase do *workshop* era olhar para as dúvidas que eles tinham sobre as árvores e para as formas de eles próprios examinarem essas dúvidas – uma resposta não muito satisfatória para a professora.

Na nossa sessão seguinte (quase duas semanas depois), repetimos a actividade, em que cada grupo de professores comentava as ideias iniciais e as corrigidas sobre as partes das plantas. Depois, em grupo, falámos sobre quais as dúvidas que tinham ficado resolvidas e quais as ideias sobre as funções que tinham mudado. O debate foi dinâmico, cheio de boa disposição e altamente produtivo. Os professores estavam ansiosos por partilhar as pesquisas que tinham efectuado para solucionar as suas dúvidas. Após falarem nas suas perplexidades iniciais, alguns reconheceram que haviam coligido dados que poderiam responder às suas próprias interrogações e às de outros. As ideias divergentes eram ainda evidentes e, tal como anteriormente, cada uma delas foi analisada. Em alguns casos, chegou-se a uma conclusão. Noutros, os professores descobriram que estavam pouco dispostos a acreditar em dados que entravam em conflito com as suas recentes descobertas.

Duas descobertas importantes emergiram do trabalho desse dia. Em primeiro lugar, os professores ficaram surpreendidos ao descobrir que a evidência mais persuasiva e mais valorizada procedia das observações feitas por outros professores, e não da informação contida nos livros ou nas palestras dos cientistas. O melhor exemplo disto foi quando o grupo estava a debater o modo como uma planta sem sementes se pode reproduzir. Uma das professoras descreveu uma experiência bem sucedida que fizera no passado, quando conseguira reproduzir bananeiras a partir da raiz. A sua experiência persuadiu nitidamente os outros professores. O grupo começou a sorrir e a acenar e, através da linguagem corporal, indicava que isto era uma prova convincente. Julian pediu ao grupo que pensasse se se sentiriam satisfeitos com esta explicação caso ela começasse por «Li num livro que...» ou «Nesta palestra, Peter explicou que...». Os professores reconheceram, com surpresa, que os livros e as palestras não teriam sido tão credíveis para si nesse momento como a história daquela mulher. Ao rever o trabalho das horas anteriores, um professor observou que a informação em que *todos* eles tinham confiado durante o debate tinha sido as suas próprias experiências. Esta observação gerou um animado debate sobre a aprendizagem e as formas com as quais um professor a pode auxiliar, o que levou à segunda descoberta.

No decorrer deste debate sobre ensino e aprendizagem, a professora que, no final da primeira sessão, exprimira profundas reservas e frustração sobre a questão de responder ela própria às suas dúvidas, observou surpreendida que acabava de se aperceber que estivera muito envolvida no debate dessa manhã. Quis saber o que fora que Julian fizera «para fazer com que este debate funcionasse», como se a magia da manhã tivesse sido resultado de algum segredo ou truque. O que é que acontecera que a fizera dar mais atenção àquilo que ela e os seus colegas pensavam do que a qualquer resposta correcta que pensava que Julian lhes poderia dar?

CONCLUSÃO

Como é que Julian conseguira que esta mulher se envolvesse na exploração de árvores, quase que contra sua vontade? Há quaisquer segredos ou truques que transformem uma sala de aula num local onde os indivíduos constroem com vontade a sua própria compreensão ou desenvolvem as suas ideias sobre um fenómeno? Qual era a diferença entre a abordagem de Julian, no seu trabalho com os professores, e a professora do exemplo acima referido da bateria e das lâmpadas? Ambas as professoras pareciam interessadas na investigação dos estudantes. Mas que mais era exigido ao professor? Que tipo de técnicas de ensino são importantes para apoiar a construção, por um estudante da sua compreensão?

Em primeiro lugar, e talvez acima de tudo, é necessário que o fenómeno sobre o qual se pede aos estudantes para pensar seja interessante, que valha o envolvimento do seu tempo e da sua atenção. Além disso, deverá oferecer uma série de caminhos para exploração, várias hipóteses de abordagem. Uma vez estabelecidos estes parâmetros, o professor terá que ouvir cuidadosamente as interpretações que os estudantes fazem dos dados, prestando particular atenção a eventuais dificuldades, atrapalhadas e perplexidades por parte dos indivíduos. E o professor deve ainda prestar atenção às diferenças de opinião no seio da classe, respeitando-as de igual modo enquanto estão a ser alvo do interesse dos alunos. Ao focar as perplexidades e as contradições, o

REFERÊNCIAS

- professor estabelece a noção de que as ideias são complicadas e mecedoras de tempo e atenção, e de que todos os alunos são capazes de formular ideias interessantes. Para além disso, o professor reconhece que «não saber» é um estado importante – o estado em que a maior parte de nós se encontra na maioria das vezes.
- Atender tanto às ciências em estudo como às ideias dos indivíduos sobre as ciências constitui um aspecto importante do ensino construtivista. Ao encorajar os alunos a exprimir sentimentos relacionados com o seu trabalho (as suas frustrações como os seus interesses), o professor pode então encorajar os estudantes a pensar na integralidade do processo de aprendizagem. Um ambiente de brincadeira pode igualmente ter um papel importante neste tipo de abordagem, uma vez que é provável que fomenta esta expressão de sentimentos e possa servir como um escape saudável e útil à frustração inerente ao processo de construir a nossa própria compreensão.
- Estas características de uma aula construtivista poderão ser inconsistentes com uma visão da ciência como um conjunto estático de factos. No entanto, elas não são de modo algum inconsistentes com a visão da ciência como um percurso activo. Alguns professores e alguns cientistas valorizam a exploração e acreditam que esta conduz a uma compreensão significativa. Em ambas as profissões, tirar o maior partido das explorações leva o seu tempo. É possível os professores melhorarem os princípios acima referidos se atentarem nas ideias dos seus alunos. Não se trata de truques ou segredos, como a professora do estudo das árvores pensava, mas sim de princípios de ensino que necessitam de prática.
- BUSSES, A. M., CHITTENDEN, E. A., AMAREL, K., & KLAUSER, E. (1985). *Inquiry into meaning: an investigation of learning to read*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- DEWEY, J. (1902). *The child and the curriculum*. Chicago: University of Chicago Press.
- DRIVER, R. (1983). *The pupil as scientist?* Milton Keynes, Inglaterra: Open University Press.
- DUCKWORTH, E. (1986). *Teaching as research*. Harvard Educational Review, 57, 481-495.
- DUCKWORTH, E. (1987). «The having of wonderful ideas» and other essays in teaching and learning. Nova Iorque: Teachers College Press.
- DUCKWORTH, E. (1991). Twenty-four, forty-two, and I love you: Keeping it complex. *Harvard Educational Review*, 61(1), 12-23.
- DUCKWORTH, E., EASLEY, J., HAWKINS, D., & HENRIQUES, A. (1990). *Science education: A minds-on approach to the elementary years*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- DUCKWORTH, E., JULYAN, C. L., & ROWE, T. (1985). *A study on equilibrium: A final report*. Cambridge, MA: Educational Technology Center.
- ENSTEIN, A. (1938). *The evolution of physics*. Nova Iorque: Simon & Schuster.
- ELSTIGEST, J. (1985). The right question at the right time. In W. Harten (Ed.), *Primary Science: Taking the plunge* (pp. 36-46). Londres: Heinemann.
- FALLOWS, J. (1993). *Are we having fun yet?* Manuscrito não publicado.
- HAWKINS, D. (1978). *Critical barriers to science learning*. *Outlook*, 29.
- INHELDER, B., & PIAGET, J. (1958). *The growth of logical thinking*. Nova Iorque: Basic Books.
- JULYAN, C. (1989). Messing about in science: Participation not memorization. In W. Rosen (Ed.), *High school biology: Today and tomorrow* (pp. 184-193). Washington, DC: National Academy Press.