

Juan Ignacio Pozo
Miguel Ángel Gómez Crespo

A aprendizagem e o ensino de
ciências: do conhecimento cotidiano
ao conhecimento científico, Artmed,
2009.

4

A APRENDIZAGEM DE CONCEITOS CIENTÍFICOS

Da aprendizagem significativa à mudança conceitual

Se um hotentote deseja que o vento acalme, pega uma de suas peles mais grossas e pendura no extremo de uma vara, na crença de que, ao soprar embaixo da pele, o vento perderá toda sua força e acalmará.

James G. Frazer,
O ramo dourado

O elétron é uma teoria que nós utilizamos; é tão útil para compreender o funcionamento da natureza que quase poderíamos dizer que é um objeto real.

A. P. Feynman,
Você está brincando, Sr. Feynman?

Uma nova teoria não se impõe porque os cientistas se convencem dela, mas porque os que continuam abraçando as ideias antigas vão morrendo pouco a pouco e são substituídos por uma nova geração que assimila as novas ideias desde o começo.

Max Plank

Apesar de os conteúdos que temos analisado nos capítulos anteriores estarem adquirindo um peso crescente nas novas propostas para o ensino da ciência, elas continuam sendo, em sua maioria, articuladas em torno dos conteúdos

conceituais, que permanecem como eixo central da maior parte dos currículos de ciências, não só daqueles que poderíamos chamar de tradicionais, mas, inclusive, em boa parte das propostas renovadoras mais recentes. Durante um certo tempo, os projetos renovadores no ensino da ciência estiveram dirigidos a promover os procedimentos ou processos da ciência (ver, para uma resenha dessa evolução, Caamaño, 1994). Os dados recentes da pesquisa didática, que mencionamos no fim do capítulo anterior, no entanto, mostram que o uso desses procedimentos é eficaz somente quando se dispõe de conhecimentos conceituais adequados. Mas, segundo tentaremos mostrar neste capítulo, são muitas as pesquisas que mostram que os alunos não possuem esse tipo de conhecimento conceitual, o que levou a reorientar as propostas de pesquisa e inovação didática para a busca da compreensão dos núcleos conceituais básicos da ciência.

Contudo, essas propostas renovadoras, apoiadas em inúmeros dados, assumem que essa compreensão é realmente difícil para os alunos e, portanto, requer estratégias didáticas especificamente projetadas para isso. O principal problema que essa compreensão enfrenta, como veremos

Copiadora
PASTA 7
10 FOLHAS
DATA 16/4

ao longo deste capítulo, é a presença entre os alunos de fortes concepções alternativas aos conceitos científicos que lhes são ensinados, as quais são muito difíceis de modificar e, em alguns casos, sobrevivem a longos anos de instrução científica. Conforme comentávamos na introdução, algumas delas sobrevivem, de uma forma ou de outra, inclusive entre os próprios especialistas na área. Portanto, ainda que sejam um conteúdo *tradicional* na educação científica, os conhecimentos conceituais também requerem uma análise das dificuldades que sua aprendizagem traz, para ajudar-nos a encontrar formas de superá-las.

OS CONTEÚDOS CONCEITUAIS NO CURRÍCULO: DOS DADOS AOS CONCEITOS

Apesar de, como acabamos de assinalar, os conteúdos conceituais quase sempre terem desempenhado um papel central como eixo estruturador – e possivelmente continuarão desempenhando –, há diversas formas de entender esses conteúdos conceituais ou, caso se prefira, diferentes tipos de conteúdos conceituais, que suscitam diferentes formas de desenvolver

o currículo de ciências, tanto em sua organização quanto nas próprias atividades de ensino, de aprendizagem e de avaliação que compõem o trabalho diário nas salas de aula. De fato, partindo de uma distinção já estabelecida nos currículos (Coll, 1986), podemos diferenciar entre três tipos principais de conteúdos conceituais: os dados, os conceitos e os princípios. Um *dado* ou um fato é uma informação que afirma ou declara algo sobre o mundo. A aprendizagem da ciência requer conhecer muitos dados e fatos concretos, alguns dos quais são apresentados no Quadro 4.1. Alguns desses dados necessários para aprender ciência devem ser ensinados nas salas de aula, mas outros são de conhecimento *público*, resultado, como veremos, da interação cotidiana com os objetos. Não é preciso ensinar às crianças que os objetos que não têm um apoio caem: é um fato que elas conhecem desde uma idade surpreendentemente precoce, desde o berço (Carey e Spelke, 1994).

Porém, uma coisa é ter um dado, conhecer algo como um fato, e outra é dar-lhe sentido ou significado. Compreender um dado requer utilizar *conceitos*, ou seja, relacioná-los dentro de uma rede de significados que explique por que ocorrem

QUADRO 4.1

Alguns exemplos de fatos ou dados que podem ser aprendidos nas aulas de ciências

- As rochas são formadas por minerais
- O símbolo do cobre é Cu
- As células nutrem-se, relacionam-se e reproduzem-se
- A teoria da evolução foi proposta por Darwin
- A temperatura de ebulição da água a uma pressão de 1 atmosfera é de 100°C
- A densidade da água pura é de 1g/cm³
- O gelo derrete
- O álcool evapora à temperatura ambiente
- Uma distância de 1 quilômetro equivale a 1.000 metros
- A aceleração que um corpo experimenta é diretamente proporcional à resultante das forças que atuam sobre ele

e que conseqüências eles têm. Os bebês sabem que os objetos soltos caem, mas outra coisa é que saibam interpretar esse fato. Conhecer um dado permite, no melhor dos casos, reproduzi-lo (um número de telefone ou a massa atômica do cádmio) ou predizê-lo (o objeto vai cair ou vai parar, essas nuvens são um presságio de chuva para esta tarde), mas não lhe dar sentido ou o interpretar. Por que a massa não tem influência na velocidade com que os objetos caem? Por que a água evapora? Por que a massa atômica do cobre é maior que a do hidrogênio?

Responder a essas perguntas requer conhecer outros fatos e, sobretudo, outros conceitos, o que faz com que interpretar ou compreender um dado seja mais difícil do que o conhecer. Os fatos ou os dados devem ser aprendidos literalmente, de um modo reprodutivo; não é necessário compreendê-los e, de fato, frequentemente quando são adquiridos conteúdos factuais não há nada que compreender ou não se está disposto ou capacitado para fazer o esforço de compreendê-los. Em geral, o aprendizado factual de conteúdos, como os que são expostos no Quadro 4.1, consiste na aquisição de informação verbal literal (por exemplo, nomes, vocabulários, etc.)

ou de informação numérica (por exemplo, aprender a tabuada de multiplicação, saber “de cor”, sem necessidade de fazer o cálculo, qual é o quadrado de 23 ou a raiz cúbica de 32). Alguns destes dados podem ter um significado, podem ser compreendidos. Por exemplo, podemos entender por que existem o dia e a noite se formos capazes de estabelecer certas relações entre os movimentos de rotação e translação da Terra; porém, é mais complexo compreender por que os dias e as noites têm diferentes duração dependendo da época do ano e do lugar do planeta em que estejamos. Contudo, este é um dado que muita gente conhece sem necessidade de aprender

ciência. A ciência proporciona alguns dados novos, às vezes muitos, inclusive demais, mas sobretudo deve proporcionar marcos conceituais para interpretar não apenas esses dados novos, mas também a informação factual que os alunos possuem sem necessidade de estudar ciências, os quais, na sociedade da informação e do conhecimento à qual fazíamos referência no Capítulo 1, são cada vez mais abundantes.

Portanto, pretender que os alunos aprendam a ciência como um conjunto de dados ou como um sistema de conceitos implica formas completamente diferentes de orientar o ensino dela e, por conseguinte, atividades de ensino, aprendizagem e avaliação também completamente diferentes (Pozo, 1992). Como veremos um pouco mais adiante, na verdade ambos os tipos de conhecimento conceitual podem ser considerados complementares, mas seu peso no currículo não pode ser equivalente. Em geral, levando em consideração as metas que apresentávamos para a educação científica no Capítulo 1, o ensino dos conteúdos conceituais tende a estar orientado, hoje em dia, mais para a compreensão do que para a mera acumulação de dados. Mas dentro dessa aprendizagem de conceitos é possível estabelecer, por sua vez, uma diferença entre os *princípios* ou conceitos estruturais de uma disciplina e os conceitos específicos. Os princípios seriam conceitos muito gerais, com um grande nível de abstração, que geralmente são subjacentes à organização conceitual de uma área, embora nem sempre sejam suficientemente explícitos. Sem necessidade de remontar-nos aos *Principia mathematica* de Newton, conceitos tais como os de conservação e equilíbrio são algo mais que conceitos específicos, pontuais, que podem ser objeto de estudo em uma unidade ou bloco de unidades concretas. São princípios que atravessam todos os conteúdos dessas disciplinas e

cuja compreensão plena deve ser um dos objetivos essenciais de incluí-los no ensino médio (como tentaremos mostrar no próximo capítulo e, com mais detalhe, nos Capítulos 6 e 7). Difícilmente é possível compreender noções mais específicas sem dominar esses princípios, de maneira que uma das metas últimas seria a assimilação ou construção, por parte dos alunos, desses princípios ou conceitos estruturais, aos quais eles devem ter acesso *pela via* dos conteúdos conceituais específicos das disciplinas, que constituem a lista habitual de conteúdos relativos a conceitos (por exemplo, densidade, energia, combustão, dilatação, etc.). Estes conceitos específicos podem receber um tratamento curricular mais localizado.

Os fatos, os conceitos específicos e os princípios envolvem um gradiente crescente de generalização, de tal maneira que os conteúdos mais específicos deveriam ser o meio para ter acesso aos conteúdos mais gerais, que constituiriam propriamente as capacidades que precisam ser desenvolvidas (Pozo, 1999a). Em outras palavras, os diferentes tipos de conteúdos conceituais desempenhariam uma função diferente no currículo e, de algum modo, seriam mutuamente necessários. A meta final deveria ser conseguir uma compreensão dos conteúdos mais abstratos e gerais (neste caso, os princípios), mas isso somente é possível *por meio* dos conteúdos mais específicos, dos conceitos e dados. O verdadeiro sentido ou significado dos dados e dos conceitos deriva desses princípios, mas eles, por sua vez, só podem ser alcançados com a aprendizagem de dados e conceitos, dos quais nos ocuparemos a seguir. De fato, a própria ideia de relegar o estudo “memorístico” de dados incomoda muitos professores, que não concebem a ciência sem o conjunto de dados nos quais se apoia. Os alunos têm de aprender dados? E, se for assim, como? E para quê?

OS ALUNOS PRECISAM APRENDER DADOS?

Esta é uma pergunta relevante para muitos professores, que observam como certos fatos e dados, muito queridos por eles, parecem estar sendo relegados à caixa dos conteúdos obsoletos diante da crescente busca de significado de todos os conhecimentos. Quando, em palavras de García Márquez, éramos jovens e indocumentados, todos nós tivemos de aprender, ou pelo menos estudar, intermináveis listas, ladainhas de fórmulas e símbolos químicos, mas também afluentes pela direita e pela esquerda, capitais de países remotos, a maior parte dos quais não existem mais. O que aconteceu com aquele saber verbal? Não tem mais sentido na nossa sociedade? Não estão sendo relegados certos conteúdos básicos para conseguir outros objetivos, como a construção de certos conteúdos conceituais por parte dos alunos, que são dificilmente alcançáveis?

Toda decisão sobre seleção e organização de conteúdos no currículo deve ser tomada em função das metas para as quais esse currículo for dirigido. De nossa parte, tal como argumentamos no Capítulo 1, acreditamos que é preciso situar a educação científica no contexto de uma sociedade em que *sobra* informação e *faltam* marcos conceituais para interpretar, de modo que a transmissão de dados não deveria constituir um fim principal da educação científica, que deveria estar dirigida, na verdade, a dar sentido ao mundo que nos rodeia, a compreender as leis e os princípios que o regem. Há, contudo, quem advogue um *retorno ao básico* na educação, ancorado, em muitos casos, no ensino de dados. Argumenta-se, inclusive, que mesmo que os alunos não possam dar sentido a muitos desses dados no momento de aprendê-los, se conseguirem re-

tê-los poderão compreendê-los no futuro. No entanto, se atendermos aos princípios da aprendizagem e da memória, além da nossa própria experiência pessoal, temos de convir que a maior parte dos dados que, quando éramos jovens e indocumentados, aprendemos sem compreendê-los, felizmente foram esquecidos com o passar do tempo. Uma vez que muitos desses dados ou fatos que um dia aprendemos nunca mais foram usados para interpretar ou prever, nossa tendência é esquecê-los (Pozo, 1996a). As leis do esquecimento são, em geral, pouco condescendentes com a aprendizagem factual. Se os alunos têm dificuldades para compreender os conceitos básicos da ciência, têm ainda mais dificuldades para lembrar os dados que não compreendem.

Contudo, embora a transmissão de dados ou de mera informação verbal não seja mais um dos fins essenciais da educação científica, isso não significa que não é necessário ensinar dados. De fato, não é possível ensinar ciência sem dados. O que ocorre é que isso nunca deve ser um fim em si, os dados devem ser um meio, uma via para ter acesso a outras formas de conhecimento conceitual, mais próximas da compreensão. Os dados não se justificam em si mesmos se não promovem condutas ou conhecimentos significativos, mas em muitos casos são necessários para facilitar esse aprendizado mais significativo. Voltando ao argumento anterior, a aprendizagem de dados é necessária quando eles são *funcionais*, quando servem para facilitar outros aprendizados mais significativos. Vamos examinar um exemplo simples. A aprendizagem verbal da multiplicação deve ter como meta a compreensão do conceito (a multiplicação como soma de parcelas iguais), mas para poder operar eficazmente com a multiplicação é preciso, também, adquirir dados (a tabuada de multiplicação). Não tem sentido que

as crianças aprendam a multiplicar sem compreender o que estão fazendo, mas também não poderão aprender a multiplicar eficazmente sem conhecer os dados relevantes, ou seja, sem aprender de maneira repetitiva, também mal chamada de memorística, a tabuada de multiplicação. Mas a aprendizagem de dados não é, neste caso, uma finalidade em si, senão que deve estar subordinada ao uso que poderá ser feito deles. Assim, a decisão de “até onde” os alunos devem aprender a tabuada de multiplicação (até 10×10 ? 15×15 ? 33×33 ?) deve estar baseada em critérios funcionais. Poderíamos desenvolver um argumento parecido em torno do ensino da tabela periódica na Química. Não deve ser um fim em si, senão que os alunos deverão aprender aqueles símbolos que os ajudem em aprendizados posteriores.

Em nossa opinião, a seleção de conteúdos factuais deve estar subordinada à compreensão e ao uso funcional do conhecimento, e nunca constituir um fim em si. Essa funcionalidade é determinada, em muitos casos, pelo grau em que facilitam a posterior compreensão de conceitos. Mas, às vezes, também o ensino factual de informação verbal está justificado, mesmo que não se apoie na compreensão. Por exemplo, seria insensato supor que somente os alunos que compreenderem adequadamente o funcionamento do sistema imunológico deveriam aprender as condutas que previnem o contágio da AIDS. Ou que apenas aqueles que entendem a balbúrdia química do *efeito estufa* devem aprender quais hábitos e condutas podem ajudar a contê-lo. Nesses e em outros casos, é necessário que os alunos aprendam esses dados, mesmo que não possam interpretá-los (assim como todos nós aprendemos a utilizar um micro-ondas sem entender seu funcionamento). Mas esta não deve ser a meta principal da educação científica, sem perverter sua essência. Como assinala

Claxton (1991), ensinar os conhecimentos científicos como dados, como fatos sem significado para o aluno, axiomas ou princípios não entendidos nem discutidos ("a matéria está composta por átomos separados entre si por um espaço vazio", "o vento é ar em movimento"), transforma a aprendizagem da ciência em uma questão de fé, e os alunos em crentes ou, mais frequentemente, em apóstatas, condenados ao inferno da reprovação; isso quando não ficam no limbo da falta de compreensão. De fato, se os dados ajudam a adquirir conceitos, estes, por sua vez, são a forma mais eficaz de reter dados. Quando a gente compreende dá um sentido às coisas, os dados deixam de ser arbitrários e, portanto, são mais fáceis de reter. Assim ocorre em todos os campos de aprendizagem. Quem entende de futebol, música clássica, informática, termodinâmica ou macramê também retém muito mais dados, que o neófito esquece ou nem sequer percebe. A melhor forma de aprender os fatos da ciência é compreendê-los. O problema é que compreender algo é bastante mais difícil do que repeti-lo e, por conseguinte, ensinar conceitos é mais complexo do que ensinar dados.

A COMPREENSÃO DE CONCEITOS: APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Um traço característico da aprendizagem de fatos ou dados, tal como já vimos, é que o aluno deve fazer uma cópia mais ou menos literal ou exata da informação proporcionada e armazená-la em sua memória. De nada vale que aprendamos de cor um número de telefone se erramos em um ou dois números. Este caráter repetitivo da aprendizagem de dados e fatos faz com que o processo fundamental seja a repetição. Este processo de cega repetição será insuficiente, por outro lado, para

conseguir que o aluno adquira conceitos. Uma pessoa adquire um conceito quando é capaz de dotar de significado um material ou uma informação que lhe é apresentada, ou seja, quando "compreende" esse material; e compreender seria equivalente, mais ou menos, a traduzir algo para as suas próprias palavras. Vamos imaginar que estamos ouvindo uma pessoa falar em um idioma estrangeiro que conhecemos muito pouco; vamos poder dizer que entendemos algo quando conseguimos traduzi-lo para o nosso próprio idioma; talvez sejamos capazes de repetir literalmente algumas frases nesse outro idioma, som a som, como um gravador, mas não por isso estaremos entendendo o que a pessoa disse. A mesma coisa ocorre com o aluno na sala de aula; ele tem seus próprios modelos ou representações da realidade, e vamos poder dizer que entendeu o conceito de evaporação ou o de seleção natural quando conseguimos que faça a relação com essas representações prévias, que "traduza" para as suas próprias palavras e sua própria realidade.

Um problema muito comum em nossas salas de aula é que os professores "explicam" ou ensinam "conceitos" (a energia cinética, a ligação covalente, a fotossíntese ou a densidade) que os alunos na verdade aprendem como uma lista de dados que se limitam a memorizar ou reproduzir, no melhor dos casos. Isso ocorre porque a compreensão exige mais do aluno que a mera repetição. Compreender requer pôr em marcha processos cognitivos mais complexos do que repetir. O Quadro 4.2 tenta resumir as principais diferenças entre a aprendizagem de fatos e de conceitos, ou, dito de outro modo, entre a aprendizagem de informação verbal repetitiva e a significativa.

Apesar de as diferenças entre ambos os tipos de conhecimento conceitual serem mais sutis (Pozo, 1992, 1996a), para o tema que aqui nos ocupa bastaria des-

QUADRO 4.2
Diferenças entre fatos e conceitos como conteúdos da aprendizagem

	Fato	Conceito
Consiste em	Cópia literal	Relação com conhecimentos anteriores
É aprendido	Por revisão (repetição)	Por compreensão (significado)
É adquirido	De uma vez	Gradualmente
É esquecido	Rapidamente sem revisão	Lento e gradualmente

Pozo, 1992

tacar que os fatos e os dados são aprendidos de modo literal, consistem em uma reprodução exata, na qual o aprendido não contribui com nada além do esforço de repetir, enquanto os conceitos são aprendidos estabelecendo relações com os conhecimentos prévios que se possui. Assim, a aquisição de fatos e dados tem um caráter de tudo ou nada. Ou o aluno sabe qual é o símbolo químico do cádmio ou não sabe. Em compensação, sobre os conceitos não se sabe "tudo ou nada", senão que é possível entendê-los em diferentes níveis. Enquanto o aprendizado de fatos somente admite diferenças "quantitativas" ("sabe" ou "não sabe"), o aprendizado de conceitos é caracterizado pelos matizes qualitativos (não se trata tanto de saber se o aluno compreende ou não, mas de "como" compreende). Esta será uma característica muito importante da aprendizagem de conceitos a ser considerada na avaliação. Se é necessário expor atividades diferenciadas para ensinar fatos e conceitos (ver Garcia Madruga, 1990; Pozo, 1992), igualmente importante é diferenciar, na avaliação, quando o aluno aprendeu algo como um fato e quando como um conceito. De modo muito resumido, o Quadro 4.3 sugere algumas precauções que podem ser tomadas na avaliação para impedir que a aprendizagem de conceitos seja tratada como uma aprendizagem de fatos.

A maior parte dessas ideias está dirigida a avaliar a aprendizagem conceitual com critérios abertos ou flexíveis, em vez de fazê-lo em termos de respostas corretas ou incorretas. O aprendizado de fatos ou de dados é um processo que não admite graus intermediários; se não estão dadas as condições adequadas (de motivação, prática e quantidade restrita de material), não se aprende. Por outro lado, o processo de compreensão é gradual; é praticamente impossível conseguir uma compreensão ótima (similar à que teria um especialista) na primeira vez em que nos deparamos com um problema (por exemplo, entender como funciona um micro-ondas ou como ocorre a combustão). Se dirigirmos nossos esforços para a compreensão e não apenas para o aprendizado de dados (por exemplo, quanto tempo é preciso cozinhar o macarrão ou as verduras ou quais substâncias são inflamáveis e quais não), pouco a pouco vamos compreendendo que tipo de materiais podemos usar com o micro-ondas e como devemos usá-los, ou quais precauções devemos ter ao aquecer um líquido determinado. Cada novo ensaio ou tentativa pode nos proporcionar uma nova compreensão do fenômeno um pouco mágico do cozimento no micro-ondas ou nos ajudar a entender que, no caso da combustão do álcool, é melhor não fazer nenhum ensaio. Este caráter

QUADRO 4.3

Alguns critérios para diferenciar entre fatos e conceitos durante o processo de avaliação

- Evitar perguntas e tarefas que permitam respostas reprodutivas, ou seja, evitar que a resposta "correta" apareça literalmente incluída nos materiais e atividades de aprendizagem.
- Na avaliação, procurar situações e tarefas novas, pelo menos em algum aspecto, exigindo do aluno que generalize seus conhecimentos para uma nova situação.
- Avaliar no começo das sessões ou dos blocos temáticos os conhecimentos prévios dos alunos, ativando suas ideias e trabalhando a partir delas.
- Valorizar as ideias pessoais dos alunos, promovendo o uso espontâneo de sua terminologia, treinando-os em parafrasear ou explicar as coisas com suas próprias palavras.
- Valorizar as interpretações e conceitualizações dos alunos que se afastam ou desviam da ideia aceita. Esta valorização deve ser feita não apenas antes, mas também depois da instrução.
- Utilizar técnicas "indiretas" (classificação, resolução de problemas, etc.) que tornem inútil a repetição literal e acostumar os alunos a que se aventurem a usar seu conhecimento para resolver enigmas, problemas e dúvidas, em vez de encontrar a solução fora deles mesmos (no livro, etc.).

Pozo, 1992

gradual da compreensão tem consequências importantes para a seleção e para o sequenciamento dos conteúdos conceituais no currículo. Se, por exemplo, o aluno estuda a combustão no ensino fundamental e no ensino médio a estuda novamente, é preciso estabelecer níveis de exigência diferentes em uma e em outra etapa educacionais. Mesmo que em ambos os casos estude o mesmo conceito e ocorra uma aproximação desejável entre ambos, os conteúdos não podem nem devem ser os mesmos.

Finalmente, os fatos e os conceitos não diferem somente na maneira como são aprendidos, mas também na maneira como são esquecidos. Como assinalávamos antes, o que aprendemos como dado tende a ser esquecido facilmente, assim que deixamos de revisar ou praticar. Esquecemos o número de telefone do res-taurante assim que deixamos de frequen-tá-lo, ou o símbolo químico do lauréncio assim que alguém deixa de nos perguntar insistentemente por ele. Em compensação, esquecemos aquilo que compreendemos de maneira bem diferente. Talvez com o tempo uma parte vá se apagando e nossa compreensão se torne difusa e de-

formada, mas considerando os princípios que regem a memória ou a recuperação do conhecimento aprendido, o esquecimento não é tão repentino nem tão total quanto na aprendizagem de dados (Pozo, 1996a).

Todas essas características fazem com que a aprendizagem de conceitos seja mais eficaz e duradoura do que a aprendizagem de dados, mas também a tornam mais exigente. Seus resultados são melhores, mas as condições para que se ponha em marcha também são mais difíceis. Como mostrou Ausubel em sua teoria sobre a aprendizagem significativa (Ausubel, Novak e Hanesian, 1978), devem ser cumpridas certas condições para que ocorra a compreensão (ver Figura 4.1)¹.

¹ A teoria de Ausubel sobre a aprendizagem significativa pode ser encontrada, desenvolvida por extenso, em Ausubel, Novak e Hanesian (1978) ou em Novak (1977). Apresentações mais resumidas e críticas podem ser encontradas em Garcia Madruga (1990) e em Pozo (1969). Aplicações dessa teoria no ensino da ciência são encontradas em Gutiérrez (1987) e em Moreira e Novak (1988). Finalmente, para uma teoria mais atual e complexa da compreensão, veja Kintsch (1998).

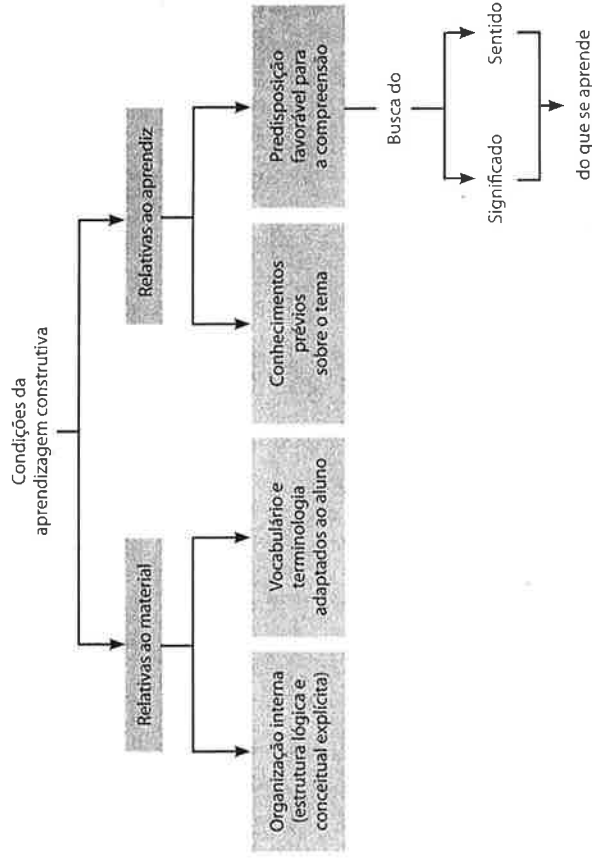


Figura 4.1

Condições ou requisitos para que ocorra uma aprendizagem construtiva. Ausubel, Novak e Hanesian, 1978

Começando pelas características que o material de aprendizagem deve ter para que possa ser compreendido, a principal exigência é que tenha uma organização conceitual interna, ou seja, que não consista em uma lista arbitrária de elementos justapostos. Quando aprendemos um número de telefone, não existe uma relação lógica entre um número e o seguinte, pois a relação entre eles é arbitrária ou casual. Por isso, não é muito sensato perguntar-se por que uma pessoa tem esse número de telefone e não outro. Não há nada para compreender em um número de telefone, é algo arbitrário. A mesma coisa ocorre com alguns materiais de aprendizagem, que embora possam ter uma certa lógica interna (por exemplo, as instruções para programar o vídeo ou para usar um processador de textos), são apresentados como uma mera lista de ações, sem que se explicita a lógica que as rege. Enquanto a

limitação mais importante do aprendizado repetitivo de dados seria a quantidade de material apresentado, as restrições para a compreensão dependem mais da organização interna desse material. Só poderão ser compreendidos aqueles materiais que estejam internamente organizados de forma que cada elemento de informação tenha uma conexão lógica ou conceitual com outros elementos, como, por exemplo, a relação entre os símbolos químicos e as iniciais dos nomes em espanhol ou latim; ou, em um nível superior de significado, a organização da tabela periódica não como uma lista arbitrária de elementos, mas como um mapa da estrutura atômica da matéria.

Além de requerer que o material de aprendizagem tenha uma estrutura conceitual explícita, convém que a terminologia e o vocabulário empregado não sejam excessivamente novos nem difíceis para

o aprendizado. Mas, sobretudo, o material não apenas deve estar organizado em si; ele deve estar organizado para *alunos*, cujos conhecimentos prévios e motivação devem ser levados em consideração. Para que um aprendiz compreenda um material, convém que tenha uma *atitude* favorável à compreensão, o que, como vimos no Capítulo 2, será mais provável se aquilo que mobiliza ou impulsiona o aprendizado do aluno é a motivação intrínseca ou o desejo de aprender, e não a motivação extrínseca ou a busca de recompensas. Em geral, a compreensão requer uma prática mais contínua e, em resumo, mais recursos cognitivos, mais esforço do que simplesmente repassar o material (Alonso Tapia, 1995; Novak e Gowin, 1984; Pozo, 1996a). Compreender algo requer maior envolvimento pessoal, maior comprometimento com o aprendizado, do que seguir cegamente alguns passos marcados, obedecendo o mandato de algumas instruções.

O aluno que tenta compreender a explicação de seu professor ou o significado de um dado obtido ao pesquisar a oscilação do pêndulo, tal como vimos no capítulo anterior, tanto quanto o leitor que tenta compreender o sentido deste parágrafo ou deste livro, está realmente *construindo* seu próprio livro ou seu próprio parágrafo, sua própria compreensão da explicação ou do pêndulo, que em algum sentido, por mínimo que seja, será diferente de qualquer outra compreensão alcançada por outra pessoa ou, inclusive, pelo próprio aluno ou leitor em outro momento, porque toda tentativa de dar significado apoia-se não apenas nos materiais de aprendizagem, mas nos *conhecimentos* prévios ativados para dar sentido a esses materiais. Esta é outra condição para que ocorra um aprendizado significativo segundo Ausubel. Nada melhor para ilustrá-lo do que tomar um texto retirado de uma obra de "divulgação científica" bastante conhecida, a *História do tempo*, de

Stephen Hawking (1988, p. 158), em que o autor pretende explicar a teoria do *big-bang* sobre a origem do universo:

Em torno de 100 segundos depois do *big-bang*, a temperatura teria caído para mil milhões de graus, que é a temperatura no interior das estrelas mais quentes. Nesta temperatura, prótons e nêutrons já não teriam energia suficiente para vencer a atração da interação nuclear forte, e teriam começado a combinar-se, juntando-se, para produzir os núcleos de átomos de deutério (hidrogênio pesado), que contém um próton e um nêutron. Os núcleos de deutério teriam se combinado, então, com mais prótons e nêutrons para formar núcleos de hélio, que contém dois prótons e nêutrons e também pequenas quantidades de dois elementos mais pesados, lítio e berílio.

Apesar da tentativa de divulgação – e de que, sem dúvida, o texto possui uma lógica interna –, é óbvio que sem consideráveis conhecimentos prévios sobre química e astrofísica, e mesmo com eles, o texto pode ser tão obscuro e denso quanto um buraco negro. Para que haja aprendizado significativo é necessário que o aprendiz possa relacionar o material de aprendizagem com a estrutura de conhecimentos de que já dispõe. Dessa forma, a compreensão de uma explicação ou do texto anterior – seu significado – não depende somente do autor ou do texto em si, mas também do leitor, do aluno, de seus conhecimentos conceituais prévios. Cada leitor *constrói* seu próprio livro, assim como cada espectador constrói seu próprio filme ou cada aluno constrói sua própria física, sua própria química ou sua própria biologia.

Portanto, sempre que uma pessoa tenta compreender algo – seja um aluno que tenta compreender a transformação de um líquido em um gás ou seu professor perguntando-se por que esse mesmo alu-

no não compreende a natureza corpuscular da matéria – precisa ativar uma ideia ou conhecimento *prévio* que sirva para organizar essa situação e dar-lhe sentido. Contudo, a ativação de conhecimentos prévios, mesmo sendo necessária para a compreensão, não garante um aprendizado adequado dos novos conceitos apresentados. O objetivo do aprendizado significativo é que, na interação entre os materiais de aprendizagem (o texto, a explicação, a experiência, etc.) e os conhecimentos prévios ativados para dar-lhe sentido, esses conhecimentos prévios sejam modificados, fazendo surgir um novo conhecimento; contudo, com maior frequência do que a explicação ausubeliana do aprendizado significativo faria supor, quando os alunos tentam compreender uma nova situação a partir de seus conhecimentos prévios, o que *muda* é essa nova informação, que é interpretada em termos dos conhecimentos prévios, sem que eles sofram praticamente nenhuma modificação.

Este é um dos problemas fundamentais para a aprendizagem da ciência, que abordaremos em detalhe no próximo capítulo. Os alunos, como qualquer um de nós, interpretam qualquer situação ou conceito que lhes for apresentado a partir de seus conhecimentos prévios, sua física, química ou biologia pessoal ou intuitiva. E, como consequência disso, o ensino da ciência praticamente não muda esses conhecimentos prévios, a partir dos quais os alunos interpretam os conceitos científicos que lhes são ensinados, visto que, em vez de reinterpretar seus conhecimentos prévios em função dos conceitos científicos, costumam fazer o contrário: assimilam a ciência aos seus conhecimentos cotidianos. Assim, quando estudam a noção newtoniana de força, assimilam-na à sua ideia intuitiva de força, que vem a ser o agente causal de todo movimento, e em vez de modificar esta ideia, dão um senti-

do diferente a todos os conceitos da mecânica clássica (força, movimento, inércia, etc.), o que torna impossível uma compreensão adequada desses conceitos. Como veremos no Capítulo 7, os *princípios* ontológicos, epistemológicos e conceituais a partir dos quais os alunos elaboram sua física intuitiva – todo movimento implica uma causa, as relações causais são lineares e unidirecionais – são radicalmente diferentes daqueles subjacentes à física que lhes é ensinada – o movimento não precisa ser explicado, mas, sim, a mudança em sua quantidade, ele é produto de uma interação dentro de um sistema de forças –, o que torna a compreensão muito difícil. A mesma coisa ocorre no caso da química. Quando se explica ao aluno a noção de movimento intrínseco das partículas, ele assimila isso à sua própria concepção intuitiva, de modo que acaba assumindo que as partículas se movimentam somente quando apresentam um movimento aparente, como no caso dos gases e de alguns líquidos, mas não quando sua aparência é estática (Gómez Crespo, 1996; também Capítulo 6), o que o impede de compreender a teoria cinético-molecular, uma vez que, novamente, esta teoria apoia-se em princípios (interação, sistema, equilíbrio) muito afastados daqueles que implicitamente são subjacentes às suas próprias intuições (não há movimento sem causa, as causas atuam linear e unidirecionalmente, etc.).

De fato, a resistência dos conhecimentos prévios a modificar-se como consequência da instrução e a tendência a assimilar os aprendizados escolares às próprias intuições foram objeto de inúmeras pesquisas nos últimos anos no âmbito da didática das ciências e constituem, sem dúvida nenhuma, o enfoque de estudo atualmente predominante. O interesse deslocou-se das condições e dos processos do aprendizado significativo para a natureza e os conteúdos desses conhecimentos

prévios e para a forma como eles podem ser modificados. A aprendizagem significativa deu lugar ao estudo da *mudança conceitual*, entendida como a modificação desses conhecimentos prévios dos alunos.

A pesquisa sobre os conhecimentos prévios dos alunos, sua física, química ou biologia intuitiva, desenvolveu-se consideravelmente nos últimos 20 anos. Hoje, temos dados abundantes sobre as concepções que os alunos possuem para interpretar grande parte dos fenômenos e conceitos estudados nas diversas áreas da ciência. De fato, o número de estudos já é enorme (Pfundt e Duit, 1994) e há, inclusive, diversos *catálogos* ou monografias sobre as ideias dos alunos nessas áreas, nos quais é possível encontrar uma descrição detalhada das concepções mantidas por eles e das técnicas que podem ser utilizadas para estudá-las ou avaliá-las (por exemplo, Driver, Guesne e Tiberghien, 1985; Driver et al., 1994; Hierrezuelo e Montero, 1991; Osborne e Freyberg, 1985; Pozo et al., 1991; ou também, de modo sintetizado, o número 7 da revista *Alambique*, dedicado monograficamente às ideias dos alunos sobre a ciência e sua influência no aprendizado).

Além dessas recopilações ou catálogos de ideias, foram feitas diversas tentativas de caracterizar essas concepções, de interpretá-las (por exemplo, Black e Lucas, 1993; Chi, 1992; Furió, 1996; Wandersee, Mintzes e Novak, 1994; Pozo, 1996b; Pozo et al., 1992; Vosniadou, 1994a). Estas diversas interpretações, apesar de apresentarem traços em comum, como sua adscrição ao enfoque construtivista da educação, diferem em muitos pontos essenciais. Para começar, não entram em acordo sequer quanto ao *nome da coisa*. Há mais de 10 anos Giordan e De Vecchi (1987) encontravam 28 formas diferentes de identificar esses conhecimentos prévios dos alunos. Desde então, certamente floresceram outras tantas maneiras, que

refletiram, possivelmente, outras tantas formas de interpretá-las.² De fato, as características que foram atribuídas a essas ideias ou concepções variam levemente de um autor para outro. Contudo, em geral assume-se que se trata de concepções muito *persistentes* (elas mantêm-se mesmo após muitos anos de instrução), *generalizadas* (são compartilhadas por pessoas de diversas culturas, idades e níveis educacionais), de caráter mais *implícito* do que explícito (os alunos as utilizam, mas muitas vezes são incapazes de verbalizá-las), relativamente *coerentes* (uma vez que o aluno as utiliza para enfrentar situações diversas) e em alguns casos guardam uma notável semelhança com concepções já superadas na própria história das disciplinas científicas.

Contudo, nem todas as concepções estudadas apresentam essas características na mesma medida; inclusive, no caso de algumas é mesmo improvável que seja possível atribuir-lhes a maior parte delas. Por isso, em vez desta caracterização global, tentaremos uma análise pormenorizada

da *ciência intuitiva* dos alunos. Assim, nas páginas que ainda restam deste capítulo tentaremos indagar a natureza e a origem dessas concepções alternativas, procurando compreender por que são tão resistentes a qualquer mudança conceitual. No próximo capítulo, vamos nos centrar nos mecanismos por meio dos quais é possível fomentar essa mudança, que formariam, junto com a mudança de atitudes e procedimentos das quais nos ocupamos em capítulos anteriores, um modelo de aprendizado/ensino das ciências baseado na integração e reestruturação desses conhecimentos prévios no marco das teorias científicas. Os capítulos seguintes desenvolvem ou ilustram esse modelo no aprendizado da química (Capítulo 6) e da física (Capítulo 7).

A ORIGEM DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS

Talvez alguns leitores estejam pensando que os problemas identificados no aprendizado de procedimentos e atitudes em capítulos anteriores já eram obstáculos suficientes para o ensino da ciência e que não era preciso ter de lutar também com a existência de concepções alternativas firmemente arraigadas e opostas ao conhecimento científico estabelecido. Talvez, nestas alturas, a crise da educação científica que foi descrita no primeiro capítulo comece a adquirir aparência de catástrofe, e algum leitor talvez já esteja se perguntando não por que os alunos não aprendem ciência, senão como é possível que às vezes aprendam. De fato, o panorama não é tão denso. As concepções alternativas não são um problema a mais, e sim uma outra manifestação do mesmo problema, que tem dimensões atitudinais, procedimentais e conceituais: a desconexão entre o conhecimento que os alunos geram para dar sentido ao mundo que os

rodeia, um mundo de objetos e pessoas, e o conhecimento científico, infestado de estranhos símbolos e conceitos abstratos referentes a um mundo mais imaginário do que real. Enquanto o conhecimento conceitual que os alunos trazem para a aula – e com ele suas atitudes e procedimentos – refere-se ao mundo cotidiano, um *mesocosmos* traçado pelas coordenadas espaço-temporais do aqui e agora, a ciência que lhes é ensinada transcorre mais na “realidade virtual” do *microcosmos* (células, partículas e outras entidades mágicas e não observáveis) e do *macrocosmos* (modelos idealizados, baseados em leis universais, não vinculados a realidades concretas, mudanças biológicas e geológicas que são medidas em milhares, em milhões de anos, sistemas em interação complexa, etc.). Somente uma relação entre esses diferentes níveis de análise da realidade, baseada justamente em sua diferenciação, pode ajudar os alunos a compreender o significado dos modelos científicos e, é claro, a interessar-se por eles. Para isso, é necessário compreender como os alunos se aproximam desse mundo de objetos e pessoas que se agitam ao seu redor, mostrando que essa aproximação requer não apenas procedimentos e atitudes, mas também conceitos bem diferentes dos exigidos pelo aprendizado da ciência.

De fato, a existência de ideias ou concepções prévias bastante arraigadas não é algo que afete exclusivamente os alunos e o aprendizado da ciência. Apesar de, talvez, esta ser a área em que essas ideias mais têm sido pesquisadas, todos nós possuímos ideias ou teorias informais sobre todos aqueles domínios do *mesocosmos* que afetam nossa vida cotidiana. Não apenas há uma física, uma química ou uma biologia *intuitivas*. Há também um conhecimento informal sobre o mundo social e histórico (Carretero, Pozo e Asensio, 1989; Carretero e Voss, 1994; Rodrigo, 1994), uma matemática intuitiva

² Na verdade, essas diversas denominações não são intercambiáveis entre si. Assim, quando se fala de ideias ou conceitos prévios, isso equivale a colocar o acento em que eles antecedem a verdadeira aprendizagem; por sua vez, quando são denominados ciência intuitiva, está sendo destacada sua entidade epistemológica. Um dos nomes mais comuns da coisa há alguns anos, “concepções errôneas”, caiu, afortunadamente, em desuso, ao mesmo tempo em que entrava em crise o modelo de mudança conceitual por conflito cognitivo que o sustentava, o qual, como veremos no próximo capítulo, estava dirigido a erradicar ou substituir essas concepções errôneas por outras cientificamente corretas. De nossa parte, apesar dessas nuances, e eludindo os rótulos com significado ainda mais duvidoso, utilizaremos genericamente os termos “concepções alternativas” ou “conhecimentos prévios” como sinônimos, embora na próxima seção, ao analisar os diversos níveis representacionais nos quais podem ser analisadas estas concepções, vamos nos referir a elas também como “teorias implícitas”, dando a esse termo um sentido preciso.

(Kahneman, Slovic e Tversky, 1982; Pérez Echeverría, 1994; Resnick e Ford, 1981), um conhecimento intuitivo ou implícito no uso das tecnologias (Norman, 1988) ou na produção artística (Gardner, 1982; Eisner, 1985), para não falar da psicologia intuitiva que todos, professores e alunos, utilizam para dar sentido à sua prática cotidiana nas aulas e que é tão resistente à mudança – talvez até mais – quanto a física ou a química intuitivas (por exemplo, Pozo e Scheuer, 1999; Pozo et al., 1998).

Em qualquer domínio que seja relevante para nós, por afetar nossa vida cotidiana, teremos ideias que nos permitem *prever e controlar* os acontecimentos, aumentando nossa adaptação a eles. Essas funções de prever e controlar o entorno imediato têm um alto valor adaptativo em todas as espécies, mas se multiplicam nos seres humanos graças à aprendizagem e à cultura (Pozo, 1996a). De fato, podemos dizer, de acordo com a psicologia evolutiva, que esta necessidade de prever e controlar começa no berço. Segundo hipóteses muito recentes e sugestivas, os bebês já dispõem, praticamente a partir do nascimento, de verdadeiras ideias ou teorias sobre o mundo dos objetos e das pessoas (Karmiloff-Smith, 1992). Inclusive há quem acredite que eles já “nascem sabendo” muitas dessas ideias (Mehler e Dupoux, 1990), ainda que isso possa suscitar algum debate (Pozo, 1994). O que está fora de dúvida é que para prever e controlar o movimento dos objetos que compõem seu *mesocosmos* os bebês precisam de *teorias* que possam prever e controlar sua conduta. Por isso, também não é estranho que, sem necessidade de instrução formal e, inclusive, praticamente sem ajuda cultural, as pessoas estejam dotadas desde muito cedo para aprender sobre o mundo e extrair conhecimento sobre ele, recorrendo a mecanismos de *aprendizagem implícita* (Berry, 1997; Pozo, 1996a; Reber, 1993) que nos permitem detectar

e extrair as regularidades que existem em nosso *mundo sensorial* e que constituem a primeira e mais sistemática fonte na origem das nossas concepções espontâneas a respeito do mundo. Contudo, outras concepções têm uma *origem cultural*, uma vez que são formatadas nos jogos de linguagem próprios de cada cultura. Finalmente, outras ideias surgem nas salas de aula, têm uma *origem escolar* no uso mais ou menos acertado de metáforas e modelos que acabam impregnando o pensamento dos alunos. As concepções deles têm, portanto, uma origem sensorial, cultural e escolar que determina em boa medida a natureza representativa dessas ideias (Pozo et al., 1991; Russell, 1993).

Origem sensorial: as concepções espontâneas

Boa parte dessas concepções alternativas seriam formadas de modo espontâneo, na tentativa de dar significado às atividades cotidianas, e seriam baseadas essencialmente no uso de regras de inferência causal aplicadas sobre dados colhidos – no caso do mundo natural – por meio de processos sensoriais e perceptivos. Cada vez que enfrentamos um novo acontecimento, ou seja, algo moderadamente discrepante das nossas expectativas, iniciamos uma procura causal com a finalidade de encontrar informação que nos permita prever e controlar esse acontecimento. A origem dessas buscas é sempre um *problema* (tal como foi caracterizado no Capítulo 3). Nem toda situação imprevisível é um problema; é necessário, também, que tenha uma certa relevância, uma influência em nossa vida cotidiana ou um interesse particular para que alguém viva uma situação como um problema (Pozo e Gómez Crespo, 1994). Quando isso ocorre, quando um objeto não se comporta como esperamos, quan-

do ocorre esse imprevisível, em nossa vida cotidiana costumamos recorrer a certas regras simplificadoras que identificam as causas mais prováveis e frequentes, reduzindo a complexidade do mundo sensorial a alguns poucos elementos destacados, eliminando o *ruído* de tantos fatores irrelevantes.

Em vez de fazer uma análise sistemática e rigorosa de possíveis variáveis, como faríamos se estivéssemos desenvolvendo uma pesquisa científica, reduzimos o espaço de busca por meio de um atalho cômodo, que nos facilita uma solução aproximada. Embora essas regras tenham um alto valor adaptativo (proporcionam soluções imediatas e frequentemente acertadas com um escasso esforço cognitivo), às vezes levam a erros ou “falsas soluções”, como mostram os exemplos de concepções alternativas apresentados no Quadro 4.4 como exemplo das regras associativas que regem nosso pensamento causal cotidiano (Pozo, 1987):

- A *semelhança* entre causa e efeito ou entre a realidade que observamos e o modelo que a explicaria.
- A *contiguidade espacial* e, se for possível, o contato físico entre causa e efeito.
- A *contiguidade temporal* entre a causa e o efeito, que devem suceder-se de modo próximo não apenas no espaço, mas também no tempo.
- A *covariação qualitativa* entre causa e efeito. As variáveis relevantes serão aquelas que ocorram sempre que se produz o efeito.
- A *covariação quantitativa* entre causa e efeito, de modo que um aumento da causa produza um aumento proporcional do efeito, e vice-versa.

Essas regras estariam muito vinculadas ao funcionamento do sistema cognitivo humano como processador de informa-

ção com recursos limitados (por exemplo, atencionais) e que, portanto, restringe o espaço de busca perante uma situação de incerteza. Normalmente, funcionariam de modo mecânico ou inconsciente, teriam uma natureza implícita e coincidiriam basicamente com as leis da aprendizagem associativa (Pozo, 1989, 1996a). Seriam *regras heurísticas*, aproximativas, com um caráter probabilístico, e não exato, que utilizaríamos com a finalidade de simplificar as situações e aumentar nossa capacidade de previsão e controle sobre elas, apesar de terem um escasso poder explicativo, uma vez que se limitam a *descrever sequências prováveis* de acontecimentos.

Apesar de que possivelmente seriam utilizadas em todos os domínios do conhecimento, aparecem principalmente em nossas teorias sobre o funcionamento do mundo natural. Como vemos nos exemplos do Quadro 4.4, boa parte da nossa física e química intuitivas, mas também das nossas ideias sobre a saúde e a doença, apoiam-se neste tipo de regras. Um traço característico delas é que apresentam uma universalidade maior, através de culturas e idades, que os outros tipos de ideias que serão analisadas a seguir. Outro traço característico é que geralmente são conhecimentos mais implícitos do que explícitos. Muitas vezes é algo que sabemos fazer, mas dificilmente dizer, verbalizar. Boa parte das ideias dos alunos não são conhecimentos conceituais, mas “teorias em ação”, regras de atuação, verdadeiros procedimentos (Karmiloff-Smith, 1992; Pozo et al., 1992).

Origem cultural: as representações sociais

Diferentemente das regras que acabamos de analisar, estas concepções teriam sua origem não tanto na interação direta, sensorial, com o mundo, mas no

QUADRO 4.4

Alguns exemplos da utilização de heurísticas ou regras simplificadoras na formação das concepções espontâneas

Regra	Exemplos
Semelhança entre causa e efeito	<ul style="list-style-type: none"> - Se está calor, tiramos a roupa, uma vez que a roupa "esquenta". - Se meu estômago dói, é por alguma coisa que comi (mas talvez não seja isso). - Se a água é úmida, as partículas de água também serão úmidas. - Os átomos de cobre terão a mesma cor que o metal: avermelhado. - Se um sólido está visivelmente quieto, as partículas que o compõem também estarão imóveis. - Se uma planta "transpira" é porque está suando.
Contiguidade espacial	<ul style="list-style-type: none"> - Se ouvimos um barulho na parte traseira do carro, é razoável procurar pela causa ali. - As lâmpadas que estão mais perto da pilha em um circuito em série brilharão com mais intensidade do que aquelas que estão mais afastadas. - A água condensada nas paredes de um copo de água que se infiltra através das paredes. - A poluição afeta somente as cidades, uma vez que no campo se respira ar puro.
Contiguidade temporal	<ul style="list-style-type: none"> - Se temos dor de cabeça ou de estômago, a razão é a última coisa que fizemos ou que comemos. - A forma das montanhas deve-se à erosão, e não aos movimentos geológicos. - Se alguém está bravo conosco, buscaremos alguma ação recente nossa que possa tê-lo incomodado. - Se nosso bonsai seca, deve ser porque na semana passada fez muito calor (embora tenham adubado sua terra há dois anos).
Covariação qualitativa entre causa e efeito	<ul style="list-style-type: none"> - Se cada vez que tenho febre e dor de cabeça tomo um antibiótico, por mais que os médicos digam o contrário, vou acreditar que os antibióticos curam a gripe. Se, em compensação, o médico receita um antibiótico que devo continuar tomando durante uma semana, assim que pararem a febre e a dor, deixo de tomá-lo, porque se não há sintomas, não há doença. - Se fizermos com que as coisas funcionem com eletricidade, vamos solucionar o problema do meio-ambiente, independentemente de como essa eletricidade for obtida. - Quando se escuta um trovão é porque há um raio. - Se um corpo se move, tem uma força. - Muitas ideias supersticiosas e rituais extravagantes são baseados também nesta regra. Por exemplo, apertamos quatro teclas para conseguir que apareça o texto na tela, sendo que, na verdade, bastava apertar uma delas.
Covariação quantitativa	<ul style="list-style-type: none"> - Se temos uma panela com água fervendo e aumentamos a intensidade do fogo, muita gente acredita que aumenta a temperatura da água. - Para aquecer mais rapidamente a casa, geralmente aumenta-se ao máximo a temperatura no termóstato. - Interpreta-se que, quanto maior velocidade tenha um corpo, maior é a força adquirida. - Os alunos acreditam que a velocidade de queda dos objetos aumenta com o peso, uma vez que os objetos, todo mundo sabe, caem pelo próprio peso.

entorno social e cultural, de cujas ideias o aluno estaria impregnado. A cultura é, entre muitas outras coisas, um conjunto de crenças compartilhadas por alguns grupos sociais, de maneira que a educação e a socialização teriam entre suas metas prioritárias a assimilação dessas crenças por parte dos indivíduos. Dado que o sistema educacional não é, hoje em dia, o único veículo – às vezes, sequer é o mais importante – de transmissão cultural, os alunos chegariam às salas de aula com crenças socialmente induzidas sobre inúmeros fatos e fenômenos. Há certos modelos, como o modelo do contágio na transmissão de doenças, ou os modelos de gasto e consumo (de energia, de recursos naturais, etc.), que aparecem de modo recorrente em nossa cultura, seja por transmissão oral, seja apresentados pelos meios de comunicação, que na sociedade da informação desempenham uma função cada vez mais relevante na *difusão* de certas concepções alternativas, seja em sua tentativa de divulgação ou, inclusive, por meio da publicidade que nos oferece detergentes com *biocool* ou geladeiras com *frigorías*.

Também há conceitos que possuem um significado diferente na linguagem cotidiana e nos modelos científicos. Assim, os conceitos de calor e temperatura são utilizados na vida cotidiana quase como sinônimos, enquanto seu significado para a ciência é muito diferente. Ou, como veremos no Capítulo 7, a energia é utilizada na vida cotidiana com um significado diferente do nítido significado que este conceito tem para a física.

O estudo das *representações sociais* realizado por psicólogos sociais como Moscovici (1976; Farr e Moscovici, 1984) sugere de que maneira esses tipos de concepções culturais são difundidas e adquiridas, por meio de processos de *esquematisação* (que levam a que as teorias

científicas, ao divulgar-se, ficam reduzidas a certos esquemas simplificados, usualmente reduzidos a uma imagem), de naturalização (que levam a que essas concepções, em vez de serem concebidas como construções sociais, passem a fazer parte da realidade) e de interiorização ou assimilação (por meio de quais cada indivíduo se apropria desses produtos culturais, tornando-os seus) – para mais detalhes desses processos, ver Paéz e colaboradores, 1987; Rodrigo, Rodríguez e Marrero, 1993.

Em resumo, ao transformar-se em conhecimento social, ao tornarem-se públicos, esses conceitos adaptam-se aos esquemas e regras de conhecimento simplificados que acabamos de analisar. De fato, esses modelos estão bastante vinculados às regras anteriores (na medida em que significativamente tendem a respeitá-las), mas sua origem é mais linguística e cultural, o que faz com que, ao contrário das anteriores, muitas vezes possam ser verbalizados com mais facilidade. Em compensação, é mais difícil transformá-los em pautas de ação. São modelos muito frequentes em certas áreas do conhecimento biológico que são culturalmente significativas, mais próximas das dimensões do mesocosmos (ideias sobre saúde e doença, nutrição, reprodução, mas também as relações com o meio ambiente, o clima, etc.).

Outro traço característico da aprendizagem da ciência em nossa sociedade, como vimos no primeiro capítulo, é que em vez de ter que procurar ativamente informação para alimentar nossa ansia de prever e controlar, estamos sendo empanurrados, sobrealimentados com informação. Em nossa cultura, a informação flui de modo muito mais dinâmico, mas também muito menos organizado. O aluno é bombardeado por diversos canais de comunicação que proporcionam, praticamente sem qualquer filtro, conhecimentos supostamente científicos que, contudo,

podem ser pouco congruentes entre si. Nesse sentido, caberia esperar que a escola, em vez de se considerar como a única fonte de informação científica, servisse para integrar ou reinterpretar essas diversas fontes, permitindo, também, um uso mais discriminativo ou reflexivo delas. A aceitação acrítica de toda informação científica apresentada por canais de divulgação pode produzir mais ruído ou confusão do que conhecimento, quando não se sabe filtrar de maneira adequada essa informação por meio dos conhecimentos conceituais e procedimentais adequados. Assim, o aluno habituado a escutar que os detergentes têm bioenzimas ou a assistir fascinantes espetáculos audiovisuais, guerras galácticas nas quais se escutam em som estereofônico explosões no espaço vazio interestelar, pode precisar que a escola proporcione uma reinterpretação dessas informações questionáveis, e não do desprezo do mundo acadêmico pela trivialidade e pelo engano dessa cultura *fast-food*. A escola deve ajudar a reconstruir o saber cultural, mas, em vez disso, frequentemente não é mais do que uma outra fonte de ideias confusas e concepções alternativas.

Origem escolar: as concepções analógicas

Quando se fala das ideias dos alunos geralmente se pensa implicitamente nas duas fontes que acabamos de mencionar, esquecendo, com frequência, a importância dos aprendizados escolares na geração de ideias que vão influenciar, por sua vez, posteriores aprendizados. Esta fonte praticamente só é mencionada para referir-se a possíveis "erros" conceituais dos alunos, cuja origem aparentemente está no próprio ensino recebido. Apresentações deformadas ou simplificadas de certos conceitos levam a uma compreensão errônea,

desviada, por parte dos alunos, que não fazem mais do que refletir a informação ou interpretação recebida.

Contudo, com muita frequência as ideias que os alunos obtêm do conhecimento escolar não apenas refletem erros conceituais presentes nos livros didáticos ou nas explicações recebidas. Elas refletem um "erro" didático na forma como lhes são apresentados os saberes científicos. Dado que o conhecimento científico não é apresentado como *diferente* de outras formas de saber, os alunos tendem a assimilar esses conhecimentos escolares às suas outras fontes de "conhecimento científico" sobre o mundo de maneira analógica. A consequência mais direta disso é uma incompreensão da própria natureza do discurso científico, que se confunde e mistura com seu conhecimento sensorial e social. Em outras palavras, os modelos científicos (geralmente referidos a estruturas não observáveis do macrocosmos ou do microcosmos) misturam-se, tornam-se difusos, naqueles âmbitos do discurso cotidiano (referidos ao mesocosmos) com referenciais comuns. O aluno concebe como análogos sistemas de conhecimento que são complementares, mas diferentes. Assim, como veremos em detalhe no Capítulo 6, à estrutura microscópica da matéria são atribuídas propriedades macroscópicas, e vice-versa. O aluno também confunde o movimento, algo diretamente observável, pertencente ao mesocosmos, com a força, uma entidade não observável; "substancializa" (ou seja, transforma em objeto material, do mundo real) a energia (ver Capítulo 7); confunde o fe-nôtipo (com traços observáveis pertencentes ao mesocosmos) com o genótipo (um conceito que se refere ao microcosmos); acredita que os elétrons fazem voltas por uma pista situada em torno do átomo ou que os peixes respiram com pulmões.

Vemos, assim, que por diferentes vias – sensorial, cultural e escolar – os alu-

nos vão adquirindo uma forte bagagem de concepções alternativas firmemente enraizadas – nos sentidos, na linguagem e na cultura, nas tarefas escolares – que, apesar de seu caráter diferente – espontâneo, social ou escolar –, interagem e se misturam, dando lugar a essa *ciência intuitiva* que é tão difícil de modificar nas salas de aula de ciências, inclusive utilizando estratégias deliberadamente projetadas para isso, como veremos no Capítulo 7. Parte das dificuldades para modificar ou mudar essas concepções alternativas vem da sua própria natureza representacional – seu caráter implícito, mas, ao mesmo tempo, altamente organizado, sua funcionalidade no conhecimento cotidiano –, mas outra parte poderia ser consequência do nosso desconhecimento dessa natureza, que tem levado a estratégias didáticas para a mudança conceitual de eficácia duvidosa. Por isso, antes de nos ocuparmos das estratégias didáticas para a mudança conceitual, convém que nos detenhamos em detalhar a natureza dessas concepções alternativas, que, como veremos, constituem autênticas *teorias implícitas*.

AS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS COMO TEORIAS IMPLÍCITAS

Temos visto que essas concepções alternativas que os alunos mantêm quando se deparam com a maior parte dos conceitos e fenômenos científicos não são algo arbitrário ou casual, não são o resultado de um erro, de uma irregularidade ou falha de seu sistema cognitivo; ao contrário, são o produto de um aprendizado que na maior parte dos casos é informal ou implícito e que tem como objetivo estabelecer regularidades no mundo, torná-lo mais previsível e controlável. Além disso, boa parte dessas concepções são também um produto cultural, seja porque constituem representações socialmente compartilhadas

deja, seja porque respondem a uma tentativa de dar sentido a atividades culturalmente organizadas.

Em resumo, as concepções alternativas não são algo acidental ou conjuntural, senão que têm uma natureza estrutural, sistemática. São o resultado de uma mente ou um sistema cognitivo que tenta dar sentido a um mundo definido não apenas pelas relações entre os objetos físicos que povoam o mundo, mas também pelas relações sociais e culturais que se estabelecem em torno desses objetos. Não é estranho, portanto, que seja tão difícil livrar-se delas no ensino, dado que constituem boa parte do nosso *sensu commun* e, inclusive, da nossa tradição cultural. Contudo, o ensino da ciência, caso pretenda que os alunos compartilhem essas outras produções culturais tão elaboradas que são os modelos e teorias da ciência, precisa superar ou transcender essas representações de primeira mão, um pouco superficiais, que nos oferecem o senso comum e a cultura cotidiana. Para isso, é necessário conhecer um pouco mais sobre como estão organizadas essas concepções alternativas e sobre o que é preciso mudar na chamada mudança conceitual. Trata-se de ideias ou concepções isoladas, desconexas, ou fazem parte de uma trama conceitual mais compacta, de uma teoria? Todas as ideias são igualmente persistentes ou resistentes à mudança, ou umas são mais do que outras? O que exatamente é preciso mudar na "ciência intuitiva" dos alunos? E como fazer isso?

Tal como ocorre em outros âmbitos, ao analisar as relações entre o conhecimento científico e o cotidiano em um domínio dado (por exemplo, Pozo, 1994; Rodrigo, 1997; Rodrigo e Correa, 1999) convém diferenciar entre diversos níveis de análise representacional. A Figura 4.2 ilustra esses diferentes níveis de análise. Em um nível mais superficial e, portanto, metodologicamente mais acessível e mais