

A AQUISIÇÃO DE PROCEDIMENTOS Aprendendo a aprender e a fazer ciência

Resultado: pois nenhuma bala, e Pilarín é boba". Isso, ou alguma coisa parecida, foi o que escrevi no caderno. E fui direto de castigo. Duas palmadas e fiquei sem ir almoçar em casa; por culpa da tal Pilarín, a meni- na essa. Eu pensei que, vai ver, tinha mesmo errado. Mas não, repassei com os dedos, e não. Deixei ver: duas balas que deu para a sua irmãzinha, mais uma bala que deu para o seu priminho, somam três balas. E se tinha três balas e deu três balas, então não sobrou nenhuma bala para Pilarín; e era mais boba que uma anta... Porque se tivesse dado uma para cada um, ainda teria sobrado outra para ela... Mas o problema não dizia nada disso; vai ver, o que acontecia é que faltavam dados.

Andrés Sopená,
O florido jardim

Um néscio preceptor me ensinou os logaritmos em uma idade precoce, e eu, por minha vez, tinha lido que houve um calculador indiano que era capaz de, em exatamente dois segundos, encontrar a décima sétima raiz de, por exemplo, 3529471145760 275132301897342055866171392 (não tenho certeza de que esse seja o número exato; de qualquer maneira, a raiz era 212). Esses eram os monstros que floresciam em meu delírio, e a única maneira de evitar que eles

invassem minha cabeça até me expulsar de mim mesmo consistia em arrancar o coração deles.

Vladimir Nabokov,
Fala, memória

Se as atitudes não tiveram um lugar central nos currículos de ciência, os procedimentos também não foram seu objetivo principal. Tradicionalmente, o ensino da ciência esteve dirigido principalmente a transmitir o *corpus* conceitual das disciplinas, os principais modelos e teorias gerados pela ciência para interpretar a natureza e seu funcionamento. O conhecimento científico, tal como é ensinado nas salas de aula, continua sendo sobretudo um conhecimento conceitual. Não em vão o verbo que melhor define o que os professores fazem durante a aula continua sendo o verbo *explicar* (e os que definem o que fazem os alunos são, no melhor dos casos, *escutar* e *copiar*). Embora seja verdade que boa parte do ensino da ciência, especialmente no que se refere à Física, esteve dedicado a treinar os alunos em algoritmos e técnicas de quantificação, geralmente esses conteúdos foram tratados como se fossem mais um conteúdo conceitual, no qual a questão fundamental continua sendo *explicar* aos alunos o que devem fazer e não proporcionar a eles uma ajuda específica para que aprendam

Copiadora

PASTA	7
FOLHAS	16
DATA	16/6/12

Juan Ignacio
A aprendizagem
de crianças,
Armed, 2009

sencial dos currículos de ciências na educação obrigatória.

Por tudo isso, hoje em dia o ensino de ciências precisa adotar como um de seus objetivos prioritários a prática de ajudar os alunos a aprender e a fazer ciência, ou, em outras palavras, ensinar aos alunos procedimentos para a aprendizagem de ciências. Não se trata de que até agora esses procedimentos tenham estado fora das aulas de ciências, mas de que na maior parte dos casos não recebiam um tratamento didático específico. De fato, boa parte do ensino da ciência sempre esteve centrado na "solução de problemas", essencialmente de caráter quantitativo, apesar de que as atividades de aprendizagem, e mesmo de avaliação dessas tarefas, serem muito similares às utilizadas com os conteúdos conceituais tradicionais. Assim como se explicavam os princípios da mecânica newtoniana, explicava-se a forma como deviam ser resolvidos os problemas, ou até o próprio "método científico" como forma de "extrair" essas leis da confusa trama de fatos que é a natureza. Vale a pena, portanto, deter-nos nas características que identificam os procedimentos como conteúdos educacionais.

A NATUREZA DOS PROCEDIMENTOS COMO CONTEÚDOS DE APRENDIZAGEM

Por sua própria natureza como conteúdos de aprendizagem, os procedimentos possuem características específicas que são convenientes considerar, caso se queira ensiná-los corretamente (Pozo, 1996a). Os procedimentos não se aprendem nem se ensinam como os outros conteúdos e, portanto, o que professores e alunos precisam *fazer* para conseguir superar as dificuldades no seu aprendizado é diferente do tradicional explicar e escutar. De fato, o conhecimento procedimental tem, do

a fazê-lo. Contudo, no marco das mudanças educacionais que assinalávamos no Capítulo 1, tanto a definição social de professores e alunos quanto sua atividade profissional estão mudando, e com essas mudanças o que é preciso fazer nas aulas torna-se mais complicado.

Por um lado, as concepções atuais sobre a natureza e a epistemologia da ciência (Duchsl, 1994; Giere, 1988; Thagard, 1992) colocam, cada vez mais, o acento em que o conhecimento científico também é um processo histórico e social, uma forma socialmente construída de conhecer e, portanto, afirmam que a ciência não pode ser ensinada sem essa dimensão processual ou procedimental. As novas necessidades formativas geradas pela sociedade da aprendizagem, às quais fizemos referência no Capítulo 1, também fazem com que *aprender a aprender* seja, em nível global, uma das metas essenciais da educação, devendo ser desenvolvida em todas as áreas e níveis.

Em uma sociedade em que os conhecimentos e as demandas formativas mudam com tanta rapidez, é essencial que os futuros cidadãos sejam aprendizes eficazes e flexíveis, que contem com procedimentos e capacidades de aprendizagem que lhes permitam adaptar-se a essas novas demandas. E, como tem mostrado a pesquisa nesta área, a aquisição dessas capacidades somente é possível se elas forem desenvolvidas a partir de cada uma das áreas do currículo, em vez de serem tratadas como habilidades gerais, descontextualizadas (Pérez Cabaní, 1997; Pérez Echeverría e Pozo, 1994). Da mesma maneira, a pesquisa recente sobre ensino e aprendizagem de ciências mostra as dificuldades e limitações dos alunos no domínio dos procedimentos científicos e em seu próprio aprendizado, colocando, também, a partir de uma perspectiva didática, a necessidade de incluir esse tema como um conteúdo es-

Poes e Miguel Angel Gomes Crespo

ponto de vista psicológico, uma natureza diferente daquela do conhecimento declarativo ou verbal. O Quadro 3.1 resume algumas dessas diferenças a partir da distinção estabelecida por Anderson (1983) entre *saber dizer*, ou conhecimento declarativo, e *saber fazer*, ou conhecimento procedimental. Muitos professores, e até mesmo muitos alunos, estão convencidos de que as dificuldades no saber fazer ocorrem devido à incapacidade de aplicar o que se sabe dizer e, por essa razão, a teoria sempre deve preceder a prática, que não seria outra coisa senão a aplicação do que foi previamente aprendido. Contudo, a moderna psicologia cognitiva da aprendizagem mostrou que são, na verdade, dois tipos de conhecimento, adquiridos por meio de processos diferentes e, até certo ponto, independentes (para uma análise detalhada desses processos, ver Pozo, 1989, 1996a).

A ideia básica dessa distinção é que as pessoas dispõem de duas formas diferentes, e nem sempre relacionadas, de conhecer o mundo. Por um lado, sabemos *dizer* coisas sobre a realidade física e social; por outro, sabemos *fazer* coisas que afetam essas mesmas realidades. Apesar de que ambos os tipos de conhecimento deveriam, em muitos casos, coincidir, mas em alguns isso não ocorre. Numerosos estudos

mostraram, por exemplo, que os alunos não sabem transformar seus conhecimentos científicos descritivos e conceituais em ações ou predições eficazes. E ao contrário, às vezes executamos ações que teríamos muita dificuldade para descrever ou definir. No aprendizado cotidiano realizamos diariamente numerosas ações que seríamos incapazes de descrever (tente o leitor *dizer* o que faz para amarrar os sapatos ou o que faz para vocalizar o *r* ou o *t*). Da mesma maneira, no contexto escolar os professores dispõem de recursos e pautas de ação na sala de aula que dificilmente conseguem verbalizar. Podemos diferenciar com facilidade quando um texto está bem argumentado, mas seria muito mais difícil, para nós, dizer com detalhe em quais critérios baseamos nosso julgamento.

A distinção estabelecida por Anderson (1983) permite dar um significado psicológico preciso a esta divergência entre o que podemos dizer e o que podemos fazer. Seriam dois tipos de conhecimento diferentes que, além disso, em muitos casos seriam adquiridos por vias diferentes. Como mostra o Quadro 3.1, o conhecimento declarativo é facilmente verbalizado, pode ser adquirido por exposição verbal e geralmente é consciente. Por outro lado, nem sempre somos capazes de verbalizar o conhecimento procedimen-

tal, ele é adquirido mais eficazmente por meio da ação e às vezes ocorre de maneira automática, sem que sejamos conscientes dele. O conhecimento procedimental é mais difícil de avaliar do que o conhecimento conceitual, uma vez que sempre se domina gradualmente e, portanto, é mais difícil discriminar entre os diferentes níveis de domínio alcançado.

Contudo, esta caracterização global dos procedimentos – entendidos nos nossos currículos como “seqüências de ações dirigidas a atingir uma meta”, segundo Coll e Valls (1992) – admite muitos matizes quando começamos a diferenciar entre tipos de procedimentos. Sob a ampla definição que acabamos de dar é possível incluir, de fato, diversas seqüências de atividades que os alunos deveriam aprender, que iriam da mais simples técnica de medição de temperatura até a formulação de hipóteses sobre a queda dos corpos ou o contraste de modelos sobre a origem do universo. De fato, os diferentes tipos de procedimentos podem ser situados ao longo de um *continuum* de generalidade e complexidade que iria das simples técnicas e destrezas até as *estratégias* de aprendizagem e raciocínio. Enquanto a técnica seria uma rotina automatizada devido à prática repetida, as estratégias envolvem um planejamento e uma tomada de decisão sobre os passos que serão seguidos. O exemplo do aprendizado de procedimentos na atividade física e no esporte ilustra muito bem essa diferença. Enquanto as técnicas seriam as rotinas motoras que os esportistas aprendem mediante processos de automatização, as estratégias envolvem um uso intencional dessas técnicas com a finalidade de alcançar determinadas metas e tipicamente seriam realizadas pelo treinador. As estratégias seriam compostas, portanto, de técnicas e envolveriam usá-las deliberadamente em função dos objetivos da tarefa.

A Figura 3.1 pode ajudar a compreender não só as diferenças entre técnicas e estratégias na aprendizagem de procedimentos, mas também os elementos componentes de uma estratégia (para uma exposição mais detalhada, ver Monereo et al., 1994; Nisbet e Shucksmith, 1986; Pozo, 1996a; Pozo e Postigo, 1994). Em primeiro lugar, as estratégias seriam compostas por técnicas. A execução de uma estratégia (por exemplo, formular e comprovar uma hipótese sobre a influência da massa na velocidade de queda de um objeto ou, voltando ao claro exemplo do esporte, preparar uma jogada coletiva para um lançamento de três pontos no basquete) requer dominar técnicas mais simples (de isolar variáveis a dominar os instrumentos para medir a massa e a velocidade, ou registrar por escrito o que foi observado, ou técnicas individuais de rotação, bloqueio e lançamento para a cesta). De fato, o uso eficaz de uma estratégia depende, em grande medida, do domínio das técnicas que dela fazem parte. Por isso, como veremos mais adiante, o ensino de estratégias não só não é contraposto a um bom domínio de técnicas ou rotinas automatizadas pelos alunos senão que, pelo contrário, deve apoiar-se nisso.

Por outro lado, tal como mostra a Figura 3.1, o uso de uma estratégia requer outros componentes cognitivos. As estratégias precisam dispor de recursos cognitivos para exercer o controle além da execução dessas técnicas, assim como um certo grau de reflexão consciente ou *metaconhecimento*, necessário sobretudo para três tarefas essenciais:

- seleção e planejamento dos procedimentos mais eficazes em cada caso;
- controle de sua execução;
- avaliação do êxito ou fracasso obtido com a aplicação da estratégia.

QUADRO 3.1

Diferenças entre conhecimento declarativo e conhecimento procedimental a partir de Anderson (1983)

	Conhecimento declarativo	Conhecimento procedimental
Consiste em	Saber o que	Saber como
É	Fácil de verbalizar	Difícil de verbalizar
Se possui	Tudo ou nada	Em parte
Se adquire	De uma vez	Gradualmente
Se adquire	Por exposição (ensino receptivo)	Por prática/exercício (ensino por descoberta)
Processamento	Essencialmente controlado	Essencialmente automático

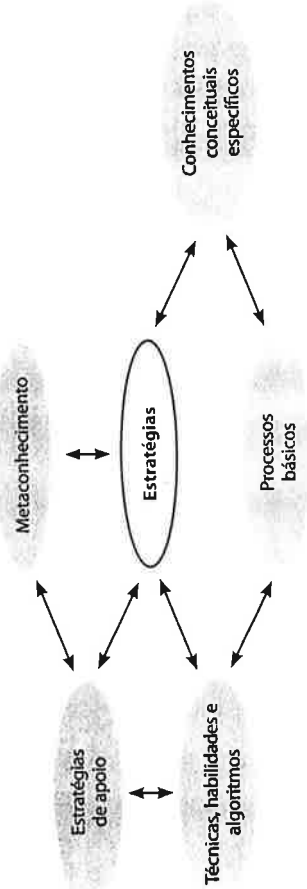


Figura 3.1

Componentes necessários para o uso de uma estratégia. Pozo, 1996a

As estratégias são diferentes das técnicas em que envolvem uma atividade liberada e controlada por parte do aluno (Monereo et al., 1994; Pozo, 1996a; Pozo e Postigo, 1994). Nas quatro fases que normalmente são reconhecidas na execução de uma estratégia de aprendizagem ou solução de problemas (fixar metas, escolher uma sequência de ação, aplicá-la e avaliar se as metas foram atingidas), o aluno deve exercer um controle consciente da aplicação da estratégia. Ao contrário, em uma aplicação rotineira ou meramente técnica, ou não existe controle consciente ou ele é exercido fora do aluno, por parte do professor, que tradicionalmente quem estabelece as metas, escolhe as sequências de ação e avalia os resultados. Neste caso, o aluno limita-se a aplicar a técnica ou rotina correspondente. Nos Capítulos 6 e 7, o leitor encontrará numerosos exemplos de trabalhos de química ou de física que, dependendo da forma como forem expostos aos alunos, exigem deles um domínio meramente técnico de uma série de rotinas ou um planejamento realmente estratégico. Como veremos a seguir, o aprendizado de estratégias requer transferir o controle das tarefas para os alunos, modificando notavelmente a

função didática do professor (Monereo et al., 1994; Pozo, 1996a).

Contudo, além desses componentes essenciais há outros conhecimentos ou processos psicológicos necessários para utilizar uma estratégia. Dificilmente é possível aplicar uma estratégia em um domínio dado sem alguns *conhecimentos temáticos específicos* sobre a área em que essa estratégia deverá ser aplicada. Esses conhecimentos incluirão não apenas informação verbal, mas também um conhecimento conceitual ou uma compreensão dessa área. Quanto maior for nossa compreensão sobre esse domínio, quanto mais elaborados e explícitos forem nossos conceitos, em vez de termos como motivação difusas teorias implícitas, mais provável será que a estratégia tenha sucesso. De fato, esse conhecimento conceitual específico é um fator determinante da eficácia no uso de estratégias de raciocínio e aprendizagem (Pérez Echeverría e Pozo, 1994). Assim, por exemplo, as estratégias de "controle de variáveis" no raciocínio científico não se aprendem independentemente do conteúdo ao qual se aplicam. Os físicos conseguem aplicá-las corretamente em tarefas de física, mas apresentam sérias lacunas ao utilizá-las em domínios

sociais, enquanto com os historiadores ocorre o contrário (Pozo, 1987; Pozo e Carretero, 1989, 1992). Essa é a razão pela qual as estratégias devem ser ensinadas de modo específico em cada domínio – ou disciplina – em vez de como capacidades ou habilidades gerais.

Outro componente importante são as chamadas *estratégias de apoio*, que se caracterizam por serem focadas nos processos auxiliares que apoiam o aprendizado, melhorando as condições materiais e psicológicas em que ele ocorre (proporcionando condições ambientais mais favoráveis, estimulando a motivação e a autoestima, apoiando a atenção e a concentração, proporcionando pistas para a recuperação do que já está aprendido, etc.). Assim, uma mudança comportamental e motivacional na aprendizagem da ciência, tal como foi descrita no capítulo anterior, com uma orientação maior para a motivação intrínseca e o desejo de aprender, é uma condição essencial para que o aluno se envolva em uma aprendizagem autônoma e tome decisões estratégicas a respeito de seu aprendizado. Finalmente, apesar de talvez ser o passo inicial, são necessários alguns *processos básicos*, cujo desenvolvimento ou progresso tornará possível a aquisição de determinados conhecimentos necessários para a aplicação de uma estratégia ou para o uso de certas técnicas ou habilidades. Aprender ciência requer pôr em marcha um conjunto complexo de processos cognitivos que não são possíveis, como veremos mais adiante, sem um determinado desenvolvimento cognitivo.

Em resumo, como síntese da Figura 3.1 podemos considerar que uma estratégia é o uso deliberado e planejado de uma sequência composta de procedimentos, dirigida a alcançar uma meta estabelecida. Nesse sentido, o domínio estratégico de uma tarefa vai exigir que previamente haja um domínio técnico, sem o qual

a estratégia não será possível. Assim, a diferença entre técnica e estratégia será funcional ou, dito em outras palavras, um mesmo procedimento – seja realizar uma medição, desenhar um gráfico ou comparar uma hipótese – pode ser realizado de modo rotineiro ou de modo estratégico, dependendo das condições de aprendizado estabelecidas pela tarefa que o aluno enfrenta.

Entre essas condições didáticas que influenciam na forma – rotineira ou estratégica – em que os alunos aprendem a usar os procedimentos relacionados com o conhecimento científico, um dos fatores mais importantes é o tipo de tarefas de aprendizado/ensino que eles normalmente enfrentam nas aulas de ciências. Se essas tarefas costumam ter um caráter rotineiro, se envolvem a *prática repetitiva* de um procedimento previamente ensinado (uma vez explicada a regra de três, resolver dez "problemas" aplicando o conhecimento adquirido), se consistem em *exercícios*, a tendência dos alunos será utilizar simples técnicas treinadas para resolvê-los, uma vez que esse tipo de tarefa praticamente não requer planejamento nem controle, apenas repetição cega. Pelo contrário, se as tarefas tendem a variar em aspectos relevantes, se resultam surpreendentes e até certo ponto imprevisíveis, se envolvem uma *prática reflexiva*, exigindo que o aluno planeje, selecione e reflita sobre sua própria atividade de aprendizagem, dado que as tarefas envolvem situações novas que exigem, também, novos planejamentos, se as tarefas constituem verdadeiros *problemas*, em resumo, para resolvê-las, os alunos terão que habilitar-se a enfrentá-las de um modo estratégico. Voltando ao exemplo do esporte, o futebol, o ciclismo ou as corridas de fundo têm um alto componente estratégico, uma vez que as condições de aplicação das desrezas adquiridas são sempre diferentes, pois existe um oponente que as modifica

diretamente. Ao contrário, o salto em altura, o halterofilismo ou as corridas de velocidade são especialidades essencialmente técnicas, porque nelas é possível aplicar as destrezas adquiridas praticamente sem variações ou mudanças. No Capítulo 7, o leitor pode encontrar outros exemplos não tão mundanos, nesse caso centrados em tarefas de cinemática.

Do ponto de vista do ensino da ciência, poderíamos, portanto, estabelecer um paralelismo entre o tipo de procedimento utilizado pelo aluno (técnica ou estratégia) e o tipo de tarefa escolar que ele enfrenta (exercício ou problema). Em outras palavras, enquanto as técnicas serviriam para enfrentar exercícios, tarefas rotineiras sempre iguais, as estratégias seriam necessárias para resolver problemas, se entendemos por problema uma situação relativamente aberta em que sabemos onde estamos e onde queremos ir, mas não exatamente como chegar lá (Pérez Echeverría e Pozo, 1994). Calcular a área de um polígono a partir de uma fórmula é um exercício, calculá-la sem a fórmula é um problema; dirigir o carro é um exercício, girar a chave da ignição e o carro não ligar é um problema; trabalhar com o tratamento de texto habitual para uma tarefa também habitual (escrever esse texto) é um exercício, propor-se uma tarefa nova (insérer uma figura ou transformar o texto em tabelas) pode chegar a ser um problema.

Uma tarefa é meramente repetitiva (exercício) ou nova (problema) em função não só de suas próprias características, mas dos conhecimentos da pessoa que a enfrenta. O que para o professor pode ser um simples exercício (medir a densidade de um líquido), para o aluno pode ser um verdadeiro problema (e vice-versa). Por isso, não é possível definir em termos absolutos se uma tarefa é um exercício ou um problema, mas há uma série de critérios que podemos considerar

ao elaborar as tarefas de aprendizado/ensino – e também as de avaliação – para diferenciar os exercícios dos problemas (ver Quadro 3.2).

A ideia fundamental por trás desses critérios é que o aluno tenderá a perceber as tarefas mais como problemas na medida em que elas forem imprevisíveis e novas. É a mudança, o rompimento com a rotina, que dificulta o cómodo exercício do hábito adquirido. Se queremos que os alunos aceitem as tarefas como verdadeiros problemas é preciso evitar essa sensação tão comum para eles de que “se hoje é quinta-feira e esta aula é de física, então o problema é de movimento uniforme”. A realização das atividades e tarefas em contextos muito definidos e limitados – por exemplo, como ilustração ou aplicação dos conceitos explicados em um tema dado – faz com que os alunos realizem de modo mecânico as atividades, sem muito problema ou, de fato, sem nenhum problema. Não precisam refletir sobre o que estão fazendo, porque fazem “o de sempre” esta semana e na aula de física: “problemas” de movimento uniforme. Na última seção deste capítulo voltaremos a falar sobre as características que devem ter os diferentes tipos de problemas para promover a aprendizagem de estratégias. Mas antes disso, devemos especificar com mais detalhe as características que deve reunir a instrução em estratégias para conseguir seu objetivo dentro do currículo de ciências.

AQUISIÇÃO DE PROCEDIMENTOS: DA TÉCNICA À ESTRATÉGIA

Como assinalamos antes, o interesse em diferenciar entre diversos tipos de conteúdos no currículo de ciências responde à necessidade de dar a cada um desses conteúdos um tratamento diferenciado, específico, que atenda às suas próprias

QUADRO 3.2

Alguns critérios para fazer com que as tarefas escolares sejam apresentadas como problemas e não como simples exercícios

Ao propor o problema

1. Propor tarefas abertas que admitam várias vias possíveis de solução e, inclusive, várias soluções possíveis, evitando as tarefas limitadas.
2. Modificar o formato ou a definição dos problemas, evitando que o aluno identifique uma forma de apresentação com um tipo de problema.
3. Diversificar os contextos em que se propõe a aplicação da mesma estratégia, fazendo com que o aluno trabalhe os mesmos tipos de problemas em diferentes momentos do currículo e perante conteúdos conceituais diferentes.
4. Propor as tarefas não só com um formato acadêmico, mas também em cenários cotidianos e significativos para o aluno, procurando que ele estabeleça conexões entre ambos os tipos de situações.
5. Adequar a definição do problema, as perguntas e a informação proporcionada aos objetivos da tarefa, utilizando, em diferentes momentos, formatos mais ou menos abertos, em função desses mesmos objetivos.
6. Utilizar os problemas com finalidades diversas durante o desenvolvimento ou sequência didática de um tema, evitando que as tarefas práticas apareçam como ilustração, demonstração ou exemplificação de conteúdos previamente apresentados ao aluno.

Durante a solução do problema

7. Habituat o aluno a tomar suas próprias decisões sobre o processo de solução, assim como a que refleta sobre o processo, concedendo-lhe uma autonomia crescente nesse processo de tomada de decisões.
8. Estimular a cooperação entre os alunos na realização das tarefas, mas também incentivar a discussão e os pontos de vista diversos, que obriguem a explorar o espaço do problema, para confrontar as soluções ou vias de solução alternativas.
9. Proporcionar aos alunos a informação de que eles precisam durante o processo de solução, desenhando uma função de apoio, dirigida basicamente a fazer perguntas ou a fomentar nos alunos o hábito de que eles mesmos se perguntem, mais do que a responder as perguntas deles.

Na avaliação

10. Avaliar mais os processos de solução seguidos pelo aluno do que a correção final da resposta obtida. Ou seja, avaliar mais do que corrigir.
11. Valorizar especialmente o grau em que esse processo de solução envolve um planejamento prévio, uma reflexão durante a realização da tarefa e uma autoavaliação, por parte do aluno, do processo seguido.
12. Valorizar a reflexão e a profundidade das soluções alcançadas pelos alunos e não a rapidez com que são obtidas.

Pozo e Postigo, 1994

características. Assim como no capítulo anterior víamos que atitudes, normas e valores são adquiridos e promovidos mediante processos específicos, nos quais a modelagem, a influência social e o conflito sociocognitivo desempenham um papel central, as próprias características dos procedimentos – técnicas ou estratégias – que acabamos de destacar requerem também o planejamento de atividades de aprendizagem e ensino específicas. Dado que não podemos entrar, aqui, em um debate entre as diversas formas de conceber a aquisição de procedimentos em contextos educacionais (ver, para análises mais detalhadas, Coll e Valls, 1992; Monereo et al., 1994; Pérez Cabaní, 1997; Pozo e Monereo, 1999; Valls, 1993), vamos tentar apresentar uma visão sucinta, integrada, a partir dessas posturas.

Em geral, a aquisição de procedimentos parece seguir uma sequência

que vai do estabelecimento de um conhecimento técnico, em forma de rotinas mais ou menos automatizadas usadas em situações de exercício, até a utilização estratégica dessas técnicas em novas combinações para enfrentar problemas realmente novos. Concretamente, é possível identificar quatro fases principais na aquisição de um procedimento, da técnica à estratégia, que são apresentadas no Quadro 3.3 (uma análise mais detalhada dessas fases pode ser encontrada em Pozo, 1996a). Enquanto as duas primeiras fases estariam dirigidas a promover o uso técnico do procedimento, as duas últimas fomentariam sua aplicação no marco de estratégias mais amplas. Obviamente, embora essas quatro fases respondam a uma sequência de construção e, portanto, deveriam orientar o sequenciamento dos conteúdos procedimentais no currículo de ciências, não devem ser entendidas como fases sucessivas; deve existir uma certa sobreposição e, inclusive, um contínuo ir e vir entre elas, na medida em que forem detectadas deficiências no processo de aprendizagem.

A primeira fase de treinamento técnico geralmente começa com a *apresentação de algumas instruções e/ou um modelo de ação*. As instruções servirão não só para estabelecer o objetivo da atividade (a meta para a qual se orienta o procedimento, segundo a definição), mas principalmente para especificar em detalhe a sequência de passos ou ações que devem ser realizadas. Podem ser apresentadas verbalmente, como uma lista de instruções e/ou por meio de um modelo de como executar a ação desenvolvido pelo próprio professor ou apoiado em material audiovisual. Quanto mais complexa for a sequência de ações que deve ser realizada, mais conveniente será apoiar as instruções em uma aprendizagem por modelo. De qualquer modo, seja por meio de instruções ou de modelo ou, ainda melhor, utilizando-se ambos, nesta primeira fase de treinamento deve-se *decompor* a técnica nas unidades mínimas que a compõem, atraindo a atenção sobre os elementos relevantes em cada passo e sobre a ordem sequencial em si. Isso requer, por parte do professor ou treinador, não apenas fazer uma análise

QUADRO 3.3

Fases no treinamento procedimental: da técnica à estratégia

Treinamento	Fase	Consiste em
Técnico	Declarativa ou de Instrução	Proporcionar instruções detalhadas da sequência de ações que deve ser realizada
	Automatização ou consolidação	Proporcionar a prática repetitiva necessária para que o aluno automatize a sequência de ações que deve realizar, supervisionando sua execução
Estratégico	Generalização ou transferência do conhecimento	Colocar o aluno para enfrentar situações cada vez mais novas e abertas, de maneira que ele seja obrigado a tomar cada vez mais decisões
	Transferência do controle	Promover no aluno a autonomia no planejamento, na supervisão e na avaliação da aplicação de seus procedimentos

da tarefa em questão, decompondo-a em movimentos ou sequências de ações, mas também saber quais são os conhecimentos (ou procedimentos) prévios que os aprendizes já possuem.

O objetivo básico desta primeira fase do ensino de um procedimento é, portanto, esmiuçar a sequência de ações que o aluno deve realizar – ou seja para descrever experiências que lhe permitam contrastar diversas explicações sobre a flutuação dos corpos ou para representar os dados em um gráfico – em seus elementos componentes, instruindo explicitamente sobre seu uso. Portanto, esta estratégia didática situa-se muito longe dos supostos do ensino por descoberta, mesmo do descobrimento guiado, uma vez que assume que o professor é quem deve proporcionar ao aluno os componentes técnicos das estratégias, reservando a geração de soluções próprias por parte do aluno para fases posteriores da instrução procedimental. Assume-se que, quando se trata de técnicas complexas e trabalhosas, como são a maior parte das utilizadas na aprendizagem da ciência, o aluno dificilmente vai produzir suas próprias soluções, senão que é melhor instruí-lo diretamente em certos procedimentos que, em muitos casos, são produto de uma longa construção cultural, igual ao que acontece quando é preciso aprender a usar um processador de textos, a programar um aparelho de vídeo, a conduzir um carro ou, inclusive, a fazer uma torta de batatas. De início seguimos estritamente os passos estabelecidos nas instruções, e somente quando dominamos bem a técnica estamos em condições de inventar soluções próprias para os problemas que encontramos ou mesmo para aqueles que nós mesmos vamos criando.

Para que as instruções proporcionadas nesta primeira fase sejam eficazes, devem cumprir certas condições:

- tomar como unidades mínimas componentes, procedimentos ou habilidades já dominados pelos aprendizes (as instruções não devem dizer “resolver a equação”, “representar os dados obtidos em um gráfico” ou “extrair a ideia principal do texto” se os alunos não conhecem técnicas concretas para fazer essas operações; será necessário decompor cada uma dessas técnicas nos elementos que, por sua vez, compõem cada uma delas);
- a quantidade de elementos que compõem a sequência não deve ser excessiva, para não ultrapassar a capacidade de atenção ou a memória de trabalho do aluno, que certamente é limitada, segundo mostrou a psicologia cognitiva (Baddeley, 1994; ou, no marco da aprendizagem, Pozo, 1996a);
- deve atrair a atenção sobre os traços relevantes de cada passo ou elemento da sequência (as pistas para saber quando se deve passar ao passo seguinte, se a técnica foi aplicada corretamente; por exemplo: uma vez ajustados nos dois lados da equação os átomos de todos os elementos, é possível equilibrar a carga elétrica);
- devem constituir globalmente um esquema ou programa de ação congruente com aprendizagens anteriores (ou seja, assimilável nos programas procedimentais previamente aprendidos), fazendo com que o aprendiz perceba, além de cada elemento individual da sequência, a “lógica” geral do programa, o que está sendo feito e por quê.

Os erros mais comuns nesta primeira fase de instrução geralmente ocorrem justamente por não respeitar essas regras. Assim, em muitos casos os passos que é preciso dar estão mal explicitados ou ordenados, ou excedem nossa capacidade de atenção nesse momento, por não terem

considerado nossos conhecimentos e disposições prévias, ou não fica claro quando foram aplicados corretamente para passar ao passo seguinte, etc. Exemplos típicos desses erros podem ser os manuais que acompanham boa parte dos eletrodomésticos, como aparelho de vídeo, rádio-relogio, etc. (Norman, 1988, faz uma excelente análise das dificuldades enfrentadas para aprender a usar esses aparelhos, devido, entre outras coisas, ao seu inadequado projeto instrutivo).

Supondo que as instruções sejam adequadas, a segunda fase, a mais crucial no treinamento técnico, envolve a *automatização da técnica* mediante a prática repetida. Os alunos devem pôr em prática, repetidamente, a sequência, sempre sob a supervisão do professor. A função desta fase é *condensar e automatizar* a sequência de ações em uma técnica ou rotina treinada. Por um lado, trata-se de “compor” ou condensar em uma ação todos os passos que anteriormente eram decompostos ou separados como instruções, de maneira que, como consequência da prática repetida, o aprendiz acabe executando-os como uma única ação, e não como uma série de ações consecutivas. Essa condensação, ou fusão de várias ações em uma só, supõe uma importante economia de recursos cognitivos e torna possível o uso dessa sequência combinada com outras (Pozo, 1996a).

Contudo, além de se condensar, a técnica torna-se automática, passa de executar-se de modo controlado, deliberado, a realizar-se de modo automático, sem que sequer sejamos conscientes dos passos que estamos dando. As rotinas automatizadas aplicam-se, em sua maior parte, no “piloto automático”. É o que ocorre quando já sabemos dirigir, utilizar um processador de textos ou, inclusive, controlar uma sala de aula. Daí que com muita frequência saibamos fazer coisas

que não sabemos mais dizer, porque a representação verbal, declarativa, que inicialmente tivemos em forma de instruções ou modelo, acaba sendo esquecida ou é muito difícil recuperá-la devido à falta de uso. Nesses casos, a execução controlada da técnica costuma ser menos eficaz do que sua realização automática, uma vez que a automatização traz importantes benefícios cognitivos para um sistema de capacidades limitadas como o nosso: permite fazer as coisas mais rapidamente, com menos erros e, sobretudo, liberando recursos cognitivos para fazer outras muitas tarefas ao mesmo tempo, o que permite usar as técnicas para alcançar outras metas deliberadas, ou seja, combiná-las como parte de uma estratégia. Tradicionalmente, este treinamento técnico, entendido como a transformação de certas tarefas em *rotinas sobre-aprendidas*, tem sido uma parte essencial – talvez muito essencial – do ensino da ciência, especialmente da física e da química. Contudo, muitas vezes essa automatização foi considerada como um fim em si, mais do que como um meio, um recurso instrumental que deve ser utilizado com mesura para alcançar outras metas mais relevantes.

A função do professor durante esta fase é muito diferente da anterior e de seu tradicional papel de “explicar”: trata-se aqui de supervisionar o exercício da prática, corrigindo erros técnicos e proporcionando não só reforços, mas sobretudo informação para corrigir os erros cometidos. Dado que esse processo é lento e gradual, é importante proporcionar ao aluno a quantidade de prática necessária e supervisionar sua execução. De fato, o erro mais frequente consiste em, justamente, não programar uma prática suficiente – uma vez que consome muito tempo – e limitar-se a “explicar” ao aluno o que deve fazer, com alguns exemplos ou modelos – fase de instruções –, deixando a prática

consciente, em forma de planejamento, supervisão ou controle e avaliação da execução. É necessário que o aluno enfrente tarefas cada vez mais abertas e, ao mesmo tempo, fique cada vez mais “sozinho diante do problema”, para que comece a assumir o controle estratégico. Em outras palavras, trata-se de o professor, que nas primeiras fases do treinamento profissional é quem assume as decisões de planejamento, supervisão e avaliação, *transferir progressivamente o controle* das tarefas para os próprios alunos, fazendo que, aquilo que eles anteriormente só eram capazes de conseguir com sua ajuda, agora consigam fazê-lo por si mesmos.

O objetivo, portanto, seria intervir na *zona de desenvolvimento próximo* do aluno, seguindo a terminologia de Vygotsky (1978). Em poucos casos aparece tão claramente, como no treinamento de estratégias, a ideia de que a função última de todo professor – e seu verdadeiro sucesso educacional – consiste em tornar-se cada vez mais desnecessário, porque o aluno vai conseguindo fazer sozinho o que antes somente conseguia fazer com ajuda do professor. Essa é a ideia última que deve guiar a educação, de acordo com o princípio de transferência do controle, como um processo de interiorização da cultura.

A sequência de construção do conhecimento procedimental que acabamos de descrever não deve ser tomada como algo rígido ou inflexível, de aplicação linear, uma vez que, como assinalamos anteriormente, as fases mencionadas possivelmente sobrepõem-se e reconstrõem-se umas sobre outras. Não é preciso esperar até que uma técnica esteja completamente dominada para começar a integrá-la no conhecimento estratégico. A prática repetida, os exercícios, tampouco devem carecer de significado, senão que as diferentes fases podem e devem sobrepôr-se. É basicamente um critério para o sequen-

como trabalho pessoal do aluno fora da sala de aula. Com isto não se garante uma prática suficiente e, além do mais, mesmo no caso dessa prática ser utilizada, não é possível garantir que tenha sido realizada pelo aluno (e não por sua mãe, seu avô ou seu irmão mais velho, em uma estranha manifestação de solidariedade familiar) e não haverá uma supervisão que assegure que os erros de aplicação sejam corrigidos. Conceder um maior peso aos conteúdos procedimentais no currículo de ciências envolve, de modo inevitável, conceder-lhes, também, mais tempo nas aulas de ciências.

Quando o aluno já dispõe de certas técnicas suficientemente dominadas para uma tarefa, pode começar a usá-las dentro de um plano estratégico. Essa é a função da terceira e da quarta fases do treinamento procedimental, que, de fato, podem ser aplicadas conjuntamente. *A aplicação dos procedimentos aprendidos em novas tarefas e contextos* implicará uma progressiva *reflexão sobre os êxitos e fracassos* nessa aplicação. A função dessa descontextualização ou uso cada vez mais variado das técnicas aprendidas é não apenas facilitar sua transferência ou uso em situações novas – o que em si já é muito importante, uma vez que, como vimos no Capítulo 1, esta costuma ser uma das dificuldades mais comuns na aprendizagem de procedimentos –, mas principalmente promover nos alunos uma reflexão consciente sobre seu uso, permitir que possam ir tomando consciência das melhores condições para sua aplicação, das dificuldades que apresenta e dos resultados que produz.

Em resumo, trata-se de, ao usar as técnicas perante verdadeiros problemas e não só com exercícios repetitivos, os alunos começarem a assumir por si mesmos aquelas fases na aplicação de uma estratégia que, como víamos na seção anterior, requerem tomar decisões e uma reflexão

ciamento, útil tanto no planejamento das próprias situações de aprendizagem/ensino como na organização dos conteúdos no currículo da área de ciências (Pozo e Gómez Crespo, 1996). Pode, inclusive, ser útil para analisar a orientação procedimental diferenciada que devem ter os ensinoss fundamental e o médio (Pozo e Postigo, 1994). De qualquer maneira, acreditamos que proporciona orientações úteis para ensinar aos alunos as estratégias necessárias para aprender ciências. Mas, quais são essas estratégias ou, em um sentido geral, esses procedimentos? Se queremos ajudar os alunos não só a aprender e fazer ciência mas, segundo acabamos de ver, a *comprender* o que estão fazendo e aprendendo, se queremos transferir para eles esse controle e esse conhecimento, será necessário que nós mesmos compreendamos melhor quais procedimentos devem ser aprendidos para fazer ciência e aprendê-la e, em resumo, que tenhamos uma ideia mais precisa de qual é a estrutura procedimental do currículo de ciências.

A ESTRUTURA PROCEDIMENTAL DO CURRÍCULO DE CIÊNCIAS

Assim como ocorria no caso dos conteúdos atitudinais, um dos problemas que os professores de ciências costumam ter ao abordar os procedimentos é a dificuldade para diferenciá-los e organizá-los no currículo. De fato, esse não parece ser um problema exclusivamente dos professores. Não é preciso ser muito analítico para observar que os programas elaborados pelas administrações para a área de ciências da natureza, e também para outras áreas (Pozo e Postigo, 1997), são organizados em torno de blocos temáticos de caráter conceitual, ficando, às vezes, os procedimentos como uma mera lista escassamente organizada, o que torna mais difícil fazer seu sequenciamento no currículo.

É como se o procedimento desempenhasse, de fato, um papel secundário, acompanhando e facilitando as aprendizagens conceituais, mas sem ter uma estrutura própria, uma vez que, frequentemente, as próprias disciplinas científicas (física, química, biologia, etc.) proporcionam uma estrutura conceitual, mas não possuem critérios claros para organizar os procedimentos necessários para seu aprendizado (Pozo e Gómez Crespo, 1996) e, no melhor dos casos, é corriqueiro confundir os procedimentos para aprender ciência com os próprios processos de elaboração do conhecimento científico (Wellington, 1989).

Por isso, é preciso dispor de critérios para estruturar os procedimentos necessários para aprender ciências, de forma que seu ensino possa ter uma continuidade. O Quadro 3.4 mostra uma proposta de organização dos procedimentos baseada na funcionalidade para as atividades de aprendizagem (uma justificativa detalhada dos critérios em que se baseia essa classificação pode ser encontrada em Pozo e Postigo, 1994, e um desenvolvimento mais completo para a área de ciências, em Pozo, Postigo e Gómez Crespo, 1995). Segundo os critérios estabelecidos nesta classificação (outras propostas de classificação de procedimentos podem ser encontradas em Monereo et al., 1994; Valls, 1993; ou, especificamente para a área de ciências, em Juandó et al., 1997; Lawson, 1994), é possível diferenciar entre procedimentos para *adquirir* nova informação (de observação, manejo e seleção de fontes de informação, etc.); para *elaborar* ou *interpretar* os dados coletados, traduzindo-os a um formato, modelo ou linguagem conhecida (por exemplo, traduzindo o enunciado de um problema para a linguagem algébrica ou para uma formulação química, representando em um gráfico uma informação numérica ou interpretando uma situação cotidiana, como a ebulição, a partir de

QUADRO 3.4

Classificação dos conteúdos procedimentais

1. Aquisição da Informação
 - a) Observação
 - b) Seleção de informação
 - c) Busca e captação da informação
 - d) Revisão e memorização da informação
2. Interpretação da Informação
 - a) Decodificação ou tradução da informação
 - b) Uso de modelos para interpretar situações
3. Análise da informação e realização de inferências
 - a) Análise e comparação da informação
 - b) Estratégias de raciocínio
 - c) Atividades de investigação ou solução de problemas
4. Compreensão e organização conceitual da informação
 - a) Compreensão do discurso (escrito/oral)
 - b) Estabelecimento de relações conceituais
 - c) Organização conceitual
5. Comunicação da informação
 - a) Expressão oral
 - b) Expressão escrita
 - c) Outros tipos de expressão

Pozo e Postigo, 1994

um modelo teórico, como a teoria cinética). O aluno também deve aprender a *analisar e fazer inferências* a partir desses dados (por exemplo, prever a evolução de um ecossistema, planejar e realizar um experimento extraído dele as correspondentes conclusões ou comparar as implicações de diversas teorias sobre a queda dos objetos); também deve *compreender e organizar* conceitualmente a informação que recebe (por exemplo, fazendo classificações e taxonomias das plantas, estabelecendo relações entre as propriedades dos minerais e seu aproveitamento ou compreendendo os textos escolares com os que costuma aprender); finalmente, mas não menos importante, o aluno deve saber *comunicar* seus conhecimentos (dominando tanto os recursos de expressão oral e escrita como a representação gráfica e numérica da informação).

Essa classificação dos tipos de procedimentos mereceria uma análise mais detalhada, que não podemos fazer aqui. Mas

podemos assinalar quais são os procedimentos mais importantes para a aprendizagem das ciências e quais suas principais características, exemplificando, inclusive, com algumas atividades na sala de aula que podem servir para fomentar seu uso em contextos de problema mais do que de simples exercício. O objetivo seria analisar a importância relativa de cada um desses tipos de procedimentos na área de ciências da natureza do currículo do ensino médio, com a finalidade de identificar a estrutura procedimental desta área, ou seja, os procedimentos que identificam as ciências da natureza como área do currículo frente a outras áreas.¹

¹ A análise dos conteúdos procedimentais do currículo de ciências apresentada nesta página está baseada nos conteúdos estabelecidos no DCB (Desenho Curricular Base) para a área de Ciências da Natureza em Educação Secundária do MEC (Real Decreto 1345/1991 de 6 de setembro de 1991, anexo, p. 39). Apesar de existirem outras propostas posteriores, a estrutura básica dos conteúdos procedimentais na área de ciências foi mantida.

Nos conteúdos de ciências da natureza dos anos finais do ensino fundamental e do ensino médio estão especificados um total de 154 procedimentos diferentes que os alunos devem adquirir. Esses procedimentos não estão distribuídos de maneira equilibrada entre as cinco categorias procedimentais que compõem a taxonomia proposta. De fato, como mostra a Figura 3.2, mais de 70% dos procedimentos estão centrados em duas categorias: análise e interpretação da informação. Em comparação, há menor presença de procedimentos dedicados à aquisição de informação e, principalmente, à compreensão e à

comunicação dessa informação. Portanto, os eixos procedimentais estabelecidos nesta área são os de interpretação e de análise da informação e, ocupando um lugar muito secundário, aparecem a aquisição, a compreensão e a comunicação da informação.

Se analisarmos com mais detalhe a estrutura interna de cada uma dessas categorias, entre os procedimentos de *interpretação da informação* (ver Figura 3.3) exige-se do aluno principalmente que utilize modelos para interpretar uma situação (por exemplo, "identificar as forças que intervêm em diferentes situações da

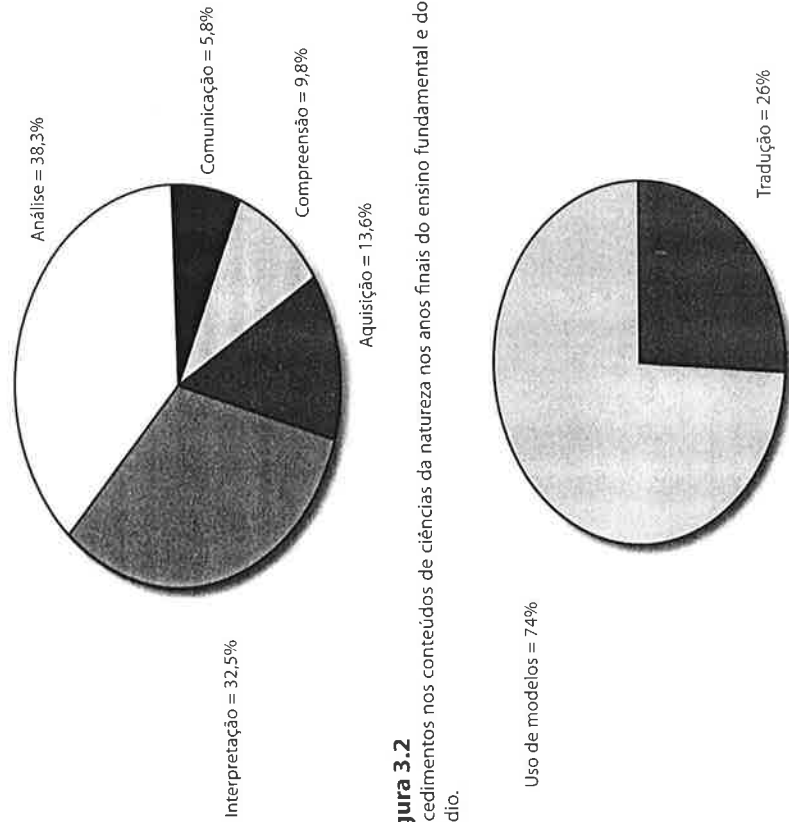


Figura 3.2 Procedimentos nos conteúdos de ciências da natureza nos anos finais do ensino fundamental e do ensino médio.

Figura 3.3

Procedimentos relacionados com a interpretação da informação nos conteúdos de ciências da natureza nos anos finais do ensino fundamental e do ensino médio.

vida cotidiana"). Concretamente, é pedido que ele aplique um modelo a uma situação de maneira autônoma (51,4% dos casos de utilização de um modelo), seguido pela aplicação de um modelo aprendido a uma situação de maneira mais dirigida, por meio das indicações do professor ou do livro didático (29,7%) e da recepção e compreensão de um modelo aplicado pelo livro ou o aplicado pelo professor a uma situação (18,9%), com uma significativa ausência da formulação ou busca de modelos alternativos por parte do aluno para interpretar uma situação dada. Em resumo, a interpretação requerida consiste basicamente em utilizar um modelo científico dado (por exemplo, a estrutura atômica da matéria, a teoria da seleção natural ou a lei da gravitação universal), procurando exemplos e situações de aplicação desse modelo a contextos escolares e, sobretudo, não escolares. Trata-se de fazer com que o aluno reflita sobre seus conhecimentos, tanto pessoais quando escolares, por meio da sua aplicação à análise de um fenômeno próximo.

Segundo com os procedimentos de interpretação, também se requer, embora em menor medida, traduzir a informação de um código para outro código ou para

uma linguagem diferente (por exemplo, escrever uma equação química a partir do enunciado de um problema), assim como reelaborá-la dentro do mesmo código (por exemplo, fazer a conversão de metros para quilômetros ou relacionar quilos com litros para uma determinada substância). As mudanças de código estão relacionadas não apenas com a quantificação (linguagem numérica), mas também com o uso de linguagens científicas, como sistemas de representação do conhecimento (por exemplo, equações químicas, fórmulas algébricas, etc.), enquanto as mudanças dentro da mesma linguagem ou código requerem que sejam feitas de operações (por exemplo, trocas de escala, ajustes de equações, etc.), dentro de cada um desses códigos.

Quanto aos procedimentos de *análise da informação*, que como se deve lembrar eram os mais frequentes nesta área, estão centrados principalmente (ver Figura 3.4) em atividades de investigação e solução de problemas (66% do total dos procedimentos de análise). O perigo reside em que este tipo de atividades, que são concebidas como uma busca aberta de respostas a partir de certas hipóteses, possam chegar a se transformar em exer-

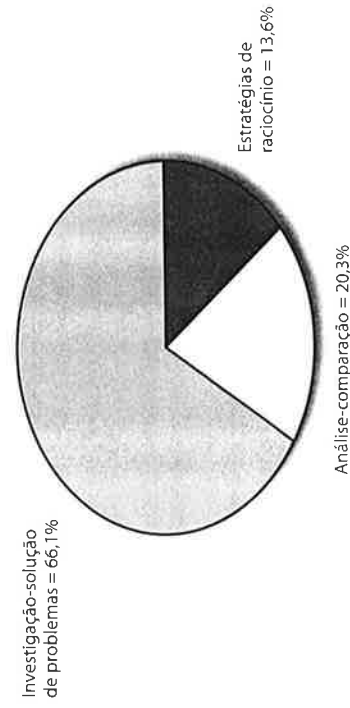


Figura 3.4 Procedimentos de análise nos conteúdos de ciências da natureza para os anos finais do ensino fundamental e do ensino médio.

cícios de demonstração (a comprovação empírica de uma resposta já dada, a prova da sua certeza). Este perigo é real e aparece inclusive nas próprias propostas curriculares para a área de ciências (Pozo, Postigo e Gómez Crespo, 1995). Apesar de haver uma participação das diversas fases (planejamento, projeto, formulação de hipótese), na maior parte dos casos o que se requer do aluno é a execução ou realização de uma experiência (46,2%), destacando também uma total ausência da fase de reflexão sobre o processo seguido na realização da experiência; em outras palavras, com muita frequência o aluno é orientado a fazer "experiências" em ausência das fases prévias (planejamento, formulação de hipóteses, etc.) e das posteriores (comprovação de hipóteses e resultados), mostrando uma tendência a interpretar a pesquisa científica como uma mera execução ou "demonstração" de modelos previamente instruídos mediante experiências, com um espírito bastante afastado do que corresponde à verdadeira investigação científica. Por outro lado, é significativo que não se inclua nesta área nenhuma referência ao metacognitivo ou à reflexão sobre o processo de solução seguido, um componente essencial da

solução de problemas e da pesquisa como atividade educativa, conforme já apontamos em seções anteriores.

Quanto aos procedimentos menos frequentes na área de ciências da natureza nos anos finais do ensino fundamental e no ensino médio (e possivelmente também na mentalidade dos professores que devem ministrá-la), os de *aquisição de informação* são, em geral, bastante escassos, e praticamente o único que aparece é a observação (76,2% do total de procedimentos de aquisição). Seleção e busca de informação quase não aparecem (4,8 e 1,9% respectivamente). Três de cada quatro procedimentos de observação envolvem o uso de técnicas ou recursos complementares específicos das ciências, e somente um de cada quatro é baseado na observação direta (ver Figura 3.5). Os demais procedimentos de aquisição de informação, relacionados com a seleção, a busca ou a revisão da informação, mesmo sendo atividades muito habituais nas salas de aula, estão praticamente ausentes.

Os procedimentos para *compreensão e organização conceitual* da informação são ainda menos frequentes (9,8% do total) e concentram-se de modo quase exclusivo no estabelecimento de relações

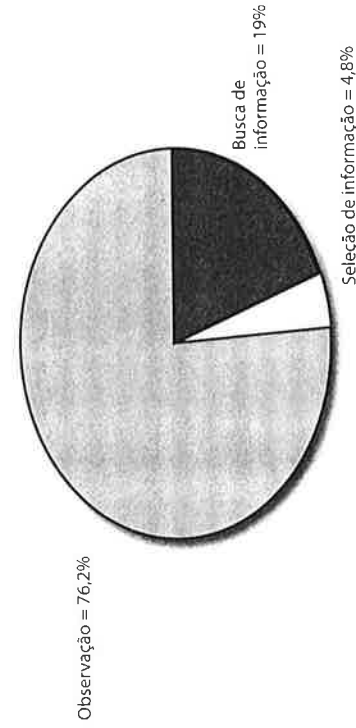


Figura 3.5 Procedimentos para a aquisição de informação nos conteúdos de ciências da natureza dos anos finais do ensino fundamental e do ensino médio.

conceituais (80%), com uma atenção menor para a organização conceitual dos conhecimentos do aluno (20%) e uma total ausência de procedimentos relacionados com a própria compreensão do discurso oral ou escrito, que, contudo, constituem a experiência cotidiana do aluno para o aprendizado das ciências: escutar o seu professor e ler textos. Quanto aos procedimentos de organização conceitual dos conhecimentos, estão reduzidos exclusivamente ao domínio da classificação, mas não incluem outras técnicas de organização conceitual mais complexas e necessárias, como a elaboração de mapas conceituais, de redes semânticas, etc.

Finalmente, os procedimentos para a *comunicação da informação* praticamente não estão presentes no currículo de ciências da natureza dos anos finais do ensino fundamental e do ensino médio (5,8% do total). Os poucos que existem estão agrupados principalmente na expressão escrita, à frente da oral ou de outras formas. E, entre os diversos aspectos da expressão escrita, estão focados na própria utilização de recursos e técnicas de expressão (resumos, relatórios) para a elaboração da escrita (80%) e na análise de adequação do texto (20%), sem considerar outros aspectos, como o planejamento ou a diferenciação entre diversos tipos de textos escritos. O mesmo acontece com os outros dois tipos de expressão (oral e gráfica) no que se refere a esse aspecto, ou seja, estão focados somente na execução ou realização.

A partir da análise anterior, podemos extrair algumas conclusões sobre a estrutura procedimental do currículo de ciências, pelo menos nos anos finais do ensino fundamental e ensino médio. Os procedimentos que têm mais peso nesse currículo são aqueles que estão ligados aos processos de *fazer ciência*, ou seja, os mais próximos ao próprio trabalho que os cientistas realizam (utilizar modelos para interpretar a realidade e investigar

a adequação empírica desses modelos). Embora essa predominância seja consequência da própria natureza epistemológica da área, e como tal será justificada, é mais questionável a escassa presença de outros procedimentos mais próximos à necessidade de *aprender ciência* por parte dos alunos (buscar e selecionar informação, compreender textos, organizar conhecimentos, saber expressá-los, etc.). Em outras palavras, os procedimentos estão centrados mais na metodologia da ciência do que nos processos por meio dos quais ela é aprendida. Existe o perigo de não diferenciar suficientemente entre os processos para fazer ciência e os processos para aprendê-la, que é a verdadeira tarefa que os alunos devem enfrentar (Pozo, Postigo e Gómez Crespo, 1995; Wellington, 1989). Ao aprender ciência, os alunos devem utilizar procedimentos que estejam próximos aos que utiliza um cientista em suas pesquisas (formular e comprovar hipóteses, medir, contrastar modelos, etc.), mas também devem utilizar outros procedimentos específicos já não da ciência, mas da aprendizagem escolar, para ler e compreender os textos científicos, decodificar os gráficos, comunicar suas ideias e conhecimentos, etc. Esses procedimentos gerais também devem receber um tratamento específico no currículo de ciências caso se queira que os alunos consigam utilizá-los em seu aprendizado (Juandó et al., 1997; Pozo e Gómez Crespo, 1996; Pozo e Postigo, 1997).

O perigo de que o ensino de procedimentos em ciências fique reduzido a uma emulação simples do trabalho dos cientistas aumenta devido a uma segunda tendência observada nas análises anteriores. Os procedimentos tendem a aparecer mais como aplicação técnica do que como estratégias, apesar dessa distinção muitas vezes nem sequer chegar a ser explícita na nas propostas curriculares. Insiste-se na aplicação de modelos, na execução de

experiências, etc., mais do que na geração de modelos por parte dos alunos, na reflexão sobre esses modelos, no planejamento e na elaboração de experiências, etc. Existe o risco de se interpretar que o ensino de procedimentos serve, nesta área, para “aplicar” ou “demonstrar” conhecimentos mais do que para gerá-los ou construí-los.

A escassa referência a processos metacognitivos, de autoavaliação e reflexão por parte do aluno, aumenta o perigo de reduzir os problemas a exercícios, as estratégias a rotinas técnicas, o saber fazer ao saber repetir. E esse perigo é mais significativo na medida em que não apenas reflete a estrutura procedimental dos currículos da área, mas que coincide basicamente com a forma como os professores tendem a entender a solução de problemas em ciências (Ramírez, Gil e Martínez Torregrosa, 1994).

A SOLUÇÃO DE PROBLEMAS NO ENSINO DA CIÊNCIA

No trabalho na sala de aula, todos esses procedimentos são integrados em atividades mais amplas que, de modo geral, envolvem a utilização de vários procedimentos e nas quais podem estar refletidas as características procedimentais do currículo de ciências e os perigos que dele se derivam. Entre essas atividades, talvez o exemplo mais importante seja a chamada *solução de problemas*. Embora no contexto escolar exista uma certa confusão sobre o significado do conceito de problema, que muitas vezes mascara sob este nome atividades que são meros exercícios, os problemas na área de ciências acabaram sendo um dos recursos didáticos mais utilizados para adquirir e consolidar os diferentes conhecimentos. Centrando-nos no contexto escolar e nos problemas que se apresentam nas aulas de ciências, considerando

a forma como são trabalhados na sala de aula e seus objetivos educacionais, propomos uma classificação para este tipo de atividade em *problemas qualitativos*, *problemas quantitativos* e *pequenas pesquisas* (Pozo e Gómez Crespo, 1994). Mais adiante, ao falar dos procedimentos para fazer e aprender química e física (ver os Capítulos 6 e 7), retomaremos essa classificação, propondo mais exemplos de cada um desses tipos de problemas.

Os *problemas qualitativos*, cujas características estão resumidas no Quadro 3.5, são problemas abertos, nos quais se deve prezar ou explicar um fato, analisar situações cotidianas e científicas e interpretá-las a partir dos conhecimentos pessoais e/ou do marco conceitual que a ciência proporciona. São problemas que o aluno pode resolver por meio de raciocínios teóricos, sem necessidade de recorrer a cálculos numéricos ou manipulações experimentais. Esses problemas são úteis para que o aluno relacione os modelos científicos com os fenômenos que eles explicam, ajudando a detectar suas ideias e interpretações. Para isso, é necessário que os alunos façam predições, ajudando o professor a reconhecer e determinar os parâmetros do problema, incitando-os a que proponham modelos, provocando-os para que surjam novas ideias e fomentando o debate na sala de aula. No exemplo do Quadro 3.5, é necessário que os alunos encontrem um modelo que permita interpretar o fenômeno que foi apresentado – por exemplo, em função de propriedades macroscópicas ou da teoria corpuscular. Contudo, é preciso considerar que se o enunciado, o professor ou o contexto induzem de algum modo o modelo ou o tipo de análise que deve ser realizada, provavelmente deixará de ser um problema para se transformar em um exercício, em que o aluno se limita a aplicar a teoria estabelecida *a priori*. Esses problemas são mais relevantes quando são apresentados

QUADRO 3.5

Características dos problemas qualitativos

Problemas qualitativos

Exemplo: Explique racionalmente por que a roupa seca mais rapidamente nos dias em que há vento do que nos dias em que não há.
Objetivos: Estabelecer relações entre os conteúdos científicos e os fenômenos que estudam. Fazer com que o aluno reflita sobre seus conhecimentos pessoais e escolares por meio da sua aplicação e pela análise de um fenômeno próximo.

Vantagens

- Bom instrumento para que o aluno trabalhe conceitos científicos, seja consciente de suas ideias e discuta com seus colegas.
- Ajuda que ele expresse suas ideias e reflita sobre elas.
- Úteis para trabalhar problemas nos quais é difícil manejar experimentalmente as variáveis existentes.
- São úteis para introduzir o aluno em um âmbito de reflexão ou em um tema novo.
- Ajudam a conhecer ideias e interpretações dos alunos.
- Atividades com alto valor formativo, especialmente quando são trabalhadas e discutidas em grupo.

Inconvenientes

- Os que são derivados dos manejos dos grupos.
- Problemas muito abertos com enunciados que, às vezes, são muito ambíguos, que podem ser resolvidos a partir de muitos pontos de vista. Às vezes, os alunos “têm um branco” e não sabem como abordá-los.

Dificuldades para o aluno

- Dificuldade para expressar suas ideias.
- Responder com a primeira ideia que lhes vem à cabeça, sem raciocinar se é ou não adequada.
- As do trabalho com as ideias prévias.

Algumas sugestões didáticas

- Estimular para que o aluno faça predições, busque novas ideias e proponha modelos interpretativos.
- Escolher situações cotidianas próximas dos alunos, com um certo grau de mistério, ajuda a conectar com seus interesses e motiva a aprendizagem.
- Fomentar a discussão, a troca de ideias e o trabalho em grupo.
- Fomentar a diversidade de níveis de resposta.
- Definir claramente os objetivos do problema antes de propô-lo.
- Ajudar o aluno de maneira gradual na resolução (delimitando o problema por meio de novas perguntas, ajudando-o a reconhecer a pergunta, sugerindo analogias, proporcionando informação complementar que permita avaliar as hipóteses que vão surgindo, etc.)

de modo aberto, mesmo que isso implique maiores dificuldades didáticas, do que quando são “delimitados”, reduzindo-os a uma mera aplicação ou exemplificação dentro de um contexto já delimitado (Pozo e Gómez Crespo, 1996).

Os *problemas quantitativos*, cujas características são apresentadas no Quadro

3.6, são os mais adequados para trabalhar as habilidades que envolvem manejo das linguagens matemáticas e algébricas. São problemas nos quais o aluno deve manipular dados numéricos e trabalhar com eles para chegar a uma solução, mesmo que ela possa não ser quantitativa. Este tipo de problema é o mais frequentemente uti-

lizado nas aulas de ciências, especialmente no caso da física e da química (Pozo e Gómez Crespo, 1994). Geralmente, são utilizados para treinar o aluno em técnicas de trabalho quantitativo (interpretar a informação de tabelas ou gráficos, fazer trocas de unidades, manejar fórmulas, estabelecer relações entre diversas magnitudes, etc.) que o ajudem a compreender os modelos científicos e proporcionem instrumentos úteis para enfrentar problemas mais complexos. Assim, o papel do professor na sala de aula estaria dirigido funda-

mentalmente a ajudar o aluno a estabelecer as relações entre os modelos teóricos, os modelos matemáticos e os casos práticos e ajudá-lo a estabelecer seqüências detalhadas de ações e gerar estratégias a partir dessas seqüências. No exemplo do Quadro 3.6, o aluno deve identificar as diferentes magnitudes que intervêm e encontrar um modelo teórico que permita explicar o problema, conectando-o com um modelo matemático que o ajude a estabelecer a relação entre as magnitudes conhecidas e a incógnita. Da mesma

maneira, deve levar em consideração em quais unidades está expressa cada magnitude, verificar se são compatíveis entre si e efetuar as trocas/conversões oportunas (neste caso, com uma tradução intracódigo, ou dentro do mesmo sistema de unidades, de metros para quilômetros).

Este tipo de problema quantitativo apresenta diversas dificuldades de aprendizagem (Pozo e Gómez Crespo, 1996), em que se destaca o fato de que geralmente aparecem sobrepostos o problema científico e o problema matemático, de maneira que, em muitas ocasiões, este mascara aquele. Assim, os alunos limitam-se a substituir valores em uma expressão matemática e a consignar o resultado numérico obtido, esquecendo o problema científico que há por trás. Isso faz com que a tarefa se transforme em um simples exercício matemático no qual, a partir de uma "fórmula", os alunos realizam algumas operações, reduzindo a estratégia de resolução a identificar o "tipo de exercício" e aplicar de forma algorítmica os passos que foram seguidos em exercícios similares. O problema científico ficou reduzido a um exercício matemático. O papel do professor, neste caso, é fundamental para conseguir que a quantificação não seja um fim, mas um meio de aproximar-se do problema científico. Para isso, é necessário ajudar o aluno a delimitar ambos os domínios (o científico e o matemático), ajudando-o a reconhecer os conceitos utilizados e a interpretar os resultados numéricos dentro do marco teórico. Igualmente, pode ser útil expor novamente esse mesmo problema com um enunciado mais aberto, com a finalidade de evitar que fique reduzido a um simples exercício.

As *pequenas pesquisas* são atividades em que o aluno deve obter as respostas para um problema por meio de um trabalho prático, tanto no laboratório escolar como fora dele. Estas tarefas, cujas características estão resumidas no Quadro 3.7, têm como objetivo aproximar o aluno,

mesmo que seja de uma forma muito simplificada, do trabalho científico mediante a observação e a formulação de hipóteses, ao mesmo tempo em que potencializam diversos procedimentos de trabalho (estratégias de busca, análise de dados, etc.). Da mesma maneira, são úteis para estabelecer conexões entre os conceitos teóricos e suas aplicações práticas, enquanto ajudam na transferência dos conhecimentos escolares para contextos mais cotidianos. Um exemplo deste tipo de atividade é o que mostra o Quadro 3.7. A partir do enunciado do exemplo é possível formular diferentes hipóteses (os objetos pequenos demoram mais a cair, os objetos grandes caem antes, etc.), que devem ser explicadas (por que você pensa isso?) e que, diferentemente dos problemas qualitativos, podem ser comprovadas experimentalmente. A dificuldade do problema está em estabelecer as variáveis relevantes e em escolher objetos adequados para realizar a experiência. O inconveniente desse tipo de atividade é que pode acabar se transformando em mero exercício guiado por um conjunto de instruções que o aluno se limita a seguir, em exemplo para ilustrar um princípio ou uma lei física ou em produção de experimentos tradicionais. A

pesquisa transforma-se e perverte-se em demonstração. Para evitá-lo é necessário expor ao aluno verdadeiros problemas, para os quais ele tenha que encontrar uma solução. Neste caso, o professor pode ajudar a definir o problema, criar dúvidas e formular perguntas que ajudem a ativar seus conhecimentos e a encontrar uma estratégia de resolução, fomentando a reflexão sobre o que foi observado e sobre suas conseqüências.

Os três tipos de problemas que acabamos de apresentar têm um objetivo comum, que é introduzir o aluno nos procedimentos para *fazer* ciência. Por isso, concluiremos este capítulo aprofundando mais nas dificuldades dos alunos ao utili-

QUADRO 3.6

Características dos problemas quantitativos

Problemas quantitativos

Exemplo: Em uma tormenta observamos que o tempo transcorrido desde que se vê o raio até que se ouve a trovada é de 10 segundos. A quantos quilômetros do observador está a tormenta, sabendo que a velocidade do som no ar é de 340m/s?

Objetivos: Treinar o aluno em técnicas de trabalho quantitativo que o ajudem a compreender os modelos científicos e dotá-lo de instrumentos para que enfrente problemas mais complexos.

Vantagens

- São um meio de treinar os alunos em técnicas e algoritmos que permitam abordar problemas mais complexos. Facilitam a compreensão das leis da natureza.

Inconvenientes

- Geralmente são baseados em atividades muito delimitadas e dirigidas pelo professor (fórmulas e algoritmos).
- O problema matemático e o científico sobrepoem-se.
- Utilização massiva e indiscriminada, confusão entre exercício e problema.

Dificuldades para o aluno

- As dificuldades matemáticas, que muitas vezes mascaram o problema da ciência.
- Dificuldades associadas à estratégia de resolução (desenho, reconhecimento e expressão verbal, etc).
- Dificuldades para extrair informação de um texto ou de outras fontes e para discriminar entre as relevantes e as irrelevantes.

Algumas sugestões didáticas

- Abrir mais as atividades.
- Ajudar a distinguir entre a solução científica e a matemática.
- Alternar e combinar exercícios e problemas.
- Graduar as distintas dificuldades.
- Fomentar a reflexão sobre a estratégia seguida. Valorar, além dos resultados numéricos, a estratégia seguida.
- Fomentar o trabalho que envolve interpretação de dados e comunicação de resultados.

QUADRO 3.7

Características das pequenas pesquisas

Pequenas pesquisas

Exemplo: Todos sabemos que quando soltamos um corpo ele é atraído pela terra e cai livremente até o solo. Contudo, o que não sabemos muito bem é se todos os corpos caem juntos. Por exemplo, se deixamos cair dois corpos, um grande e outro pequeno, qual chegará antes ao chão? Desenhe um experimento que permita responder a essa pergunta e determinar quais fatores influenciam na queda.

Objetivos: Aproximar o aluno, de modo simplificado, à pesquisa científica por meio da observação e da formulação de hipóteses (não se pretende que ele seja um cientista). Fomentar certas atitudes (indagação, reflexão sobre o que foi observado, etc.) e o uso de procedimentos (estratégia de busca, sistematização e análise de dados, etc.) úteis para um possível trabalho científico e para a compreensão e a interação com o mundo que o rodeia.

Vantagens

- Com limitações, são uma boa aproximação ao trabalho científico e um instrumento no ensino da resolução de problemas.
- Relacionam conceitos teóricos e aplicações práticas, ajudando a transferir os conhecimentos escolares para âmbitos mais cotidianos.

Inconvenientes (como problemas)

- São apenas uma aproximação fictícia e forçada do método científico.
- Muitas vezes, por trás dos trabalhos práticos realizados no laboratório, se esconde uma simples ilustração ou demonstração de uma lei científica.
- Muitas atividades que pretendem ensinar o método científico não passam de um algoritmo por meio do qual o professor proporciona as instruções necessárias.
- Muitas vezes, somente é avaliado o resultado, não o processo.

Dificuldades para os alunos

- As tarefas podem resultar abertas ou ambíguas demais para muitos alunos, que pedem instruções mais precisas para transformá-las em um exercício.

Pozo e Gómez Crespo, 1994

Algumas sugestões didáticas

- Promover a elaboração de estratégias por parte do aluno e a reflexão sobre seu trabalho.
- Trabalhar os diferentes procedimentos envolvidos e incluir procedimentos de obtenção e organização da informação, junto com a elaboração de relatórios, etc.
- Na evolução, levar em consideração a possível diversidade de respostas e de níveis de respostas.
- O professor pode ajudar proporcionando informação ou formulando perguntas que ajudem a limitar a tarefa sem permitir que chegue a ser um exercício.

zar os procedimentos para fazer ciência, ou seja, suas dificuldades para utilizar o pensamento científico, uma vez que ele nos ajudará a compreender melhor a natureza das estratégias envolvidas em seu uso e a forma como podemos ajudar os alunos a adquiri-las.

OS ALUNOS PODEM UTILIZAR O PENSAMENTO CIENTÍFICO? – O PENSAMENTO FORMAL E A APRENDIZAGEM DA CIÊNCIA

Dado que uma das metas fundamentais de qualquer currículo de ciências

“para todos” é promover nos alunos formas de pensamento próximas às que são usadas pelos cientistas, é necessário que questionemos quais são as dificuldades deles quando se trata de desenvolver ou adquirir essas formas de pensamento, em termos de procedimentos, e como poderia a educação científica favorecer essa aquisição. A este respeito, os dados da pesquisa psicológica são, no mínimo, paradoxais. Enquanto os estudos com pré-escolares mostram que desde idades muito precoces as crianças podem agir como pequenos cientistas, explorando a natureza e experimentando com ela, inclusive tendo “ideias maravilhosas” (Duckworth, 1987; também Benlloch, 1992; Kamii e DeVries, 1983), as coisas parecem complicar-se à medida que os alunos vão crescendo e, de fato, quando chegamos à adolescência parece haver um consenso sobre as sérias limitações que os alunos têm para usar formas de pensamento próximas às da ciência (Carretero, 1985; Claxton, 1991; Kuhn, Amsel e O’Loughlin, 1988; Pozo, 1987; Pozo et al., 1991; Wellington, 1989). Ambos os casos parecem verdadeiros: desde idades muito precoces as crianças podem iniciar atividades de exploração “científica”, realizando tarefas próprias do pensamento científico em condições muito restritas, como formular e comprovar hipóteses. Mas, ao mesmo tempo, os adolescentes e os adultos continuam mostrando sérias restrições na aplicação dessas formas de pensamento quando as exigências da tarefa aumentam, seja pelos conceitos científicos envolvidos, pela quantidade de informação presente ou pela forma abstrata ou descontextualizada em que geralmente se apresenta uma boa parte do conhecimento científico nas salas de aula. Não há dúvida de que a ciência é uma atividade intelectual muito complexa, que requer capacidades intelectuais muito desenvolvidas para poder compreendê-la. Embora seja possível

encontrar precursores cognitivos dessas capacidades em uma idade muito precoce, parece que o ensino desempenha um papel central em seu desenvolvimento, embora, pelo visto, com um sucesso limitado. Os adolescentes estão em condições de utilizar realmente essas capacidades? Quais são, de fato, as capacidades intelectuais requeridas para compreender a ciência? O ensino de procedimentos pode favorecer seu desenvolvimento?

Apesar de ter havido, e ainda há, tentativas diversas visando conceitualizar, em termos de processos psicológicos, o uso do pensamento científico e seu ensino (por exemplo, Halpern, 1992; Langley et al., 1987; Millar e Lubben, 1996), sem dúvida, a teoria mais elaborada sobre os fundamentos psicológicos da compreensão da ciência continua sendo a teoria do desenvolvimento cognitivo de Jean Piaget. A pergunta básica que ele tentou responder é em que consiste a inteligência e como ela evolui com a idade. Em sua teoria, a inteligência passa por quatro fases ou estados qualitativamente diferentes, os quais estão reunidos no Quadro 3.8. Cada estágio seria caracterizado não só por maior inteligência, mas sobretudo por uma inteligência *diferente* e progressivamente mais complexa. Apesar de as idades correspondentes a cada um destes estágios serem meramente orientativas e aproximadas, os três últimos estágios são correspondentes, *grosso modo*, às etapas do ensino obrigatório.

Aqui, vamos nos centrar no período do pensamento formal, por ser o que corresponde à adolescência e o mais estreitamente vinculado com a aprendizagem da ciência (um resumo sobre os estágios an-

¹ N. de R.T. No Brasil, o ensino obrigatório corresponde apenas ao ensino fundamental (6-14 anos), portanto, inclui o final do estágio pré-operacional, todo o estágio operatório concreto e o início do estágio das operações formais.

QUADRO 3.8

Estágios no desenvolvimento cognitivo

Idade	Estágio	Características	Principais aquisições
0-2 anos	Sensório-motor	Inteligência em ações e percepções	Permanência do objeto
2-7 anos	Pré-operacional	Egocentrismo cognitivo e predominância da percepção sobre a conceitualização	Desenvolvimento da linguagem e da comunicação
7-11 anos	Operações concretas	Formação de conceitos e categorias além da percepção	Classificações e seriações
12-15 anos	Operações formais	Estruturais e funcionais	Pensamento abstrato e científico

teriores pode ser encontrado em Flavell, 1985). Na verdade, podemos considerar o pensamento formal piagetiano como uma descrição psicológica do pensamento científico, consistente em uma análise dos processos e das estruturas necessárias para enfrentar a realidade com a mentalidade de um cientista. Deixando de lado as estruturas lógicas subjacentes ao pensamento formal, dada sua escassa aplicabilidade a situações escolares, podemos estabelecer suas características funcionais, que seriam os traços que diferenciam a abordagem científica de um problema de outras formas de pensamento.

O Quadro 3.9 apresenta essas características, comparando-as com as da etapa imediatamente anterior. O pensamento concreto, como seu próprio nome indica, estaria centrado na realidade imediata. Embora a criança que é capaz de usar as operações concretas já possa ir além das aparências perceptivas por meio da conceitualização, seu pensamento continua ligado ao concreto, ao real, mais do que ao possível. Já as operações intelectuais próprias do pensamento formal transcendem o real, o "aqui e agora", para ir em busca, no mesmo nível de análise, do potencial ou do possível. As operações formais, como descrição psicológica do pen-

samento científico, não diriam respeito tanto à realidade próxima como a todas as realidades possíveis. No pensamento formal, o real passa a ser um *subconjunto do possível*. A ciência não se refere nunca a uma realidade concreta, mesmo que possa ser aplicada a essa realidade, mas principalmente ao possível e ao necessário. Tenta estabelecer certas leis necessárias em vez de se ocupar apenas da realidade contingente, como faria uma pessoa que utilizasse um pensamento concreto. As leis da mecânica precisam explicar tanto o movimento dos objetos mais próximos, perceptíveis aqui e agora, quanto o comportamento dos mais longínquos planetas ou das sondas espaciais que se deslocam no vazio. O pensamento concreto, ao contrário, opera somente sobre a realidade imediata.

Desta primeira diferença surge uma segunda muito importante. Se as operações formais não trabalham com objetos do mundo real, mas com dimensões e variáveis possíveis, irão operar não com objetos físicos, mas com operações – concretas, é claro – previamente realizadas com esses objetos. As operações formais serão operações de segunda ordem, ou “operações sobre operações”. Isso significa que as operações formais são baseadas

QUADRO 3.9

Características funcionais do pensamento formal frente às do pensamento concreto

Pensamento concreto	Pensamento formal
<ul style="list-style-type: none"> Centrado na realidade Baseado nos objetos realmente apresentados Incapaz de formular e comprovar hipóteses 	<ul style="list-style-type: none"> Referente ao possível, não ao real Caráter proposicional: baseado em algum tipo de linguagem Natureza hipotética dedutiva: formulação e comprovação

em alguma linguagem ou sistema de símbolos, por meio do qual se representam os objetos, mais do que nos próprios objetos. A matemática, a álgebra, ou a linguagem química são bons exemplos desses sistemas de simbolização, mas também o são todos os sistemas de conceitos, cujas conexões ou sintaxes constituem o núcleo explicativo das ciências. Este chamado *caráter proposicional* supõe que o pensamento formal se apoia em um código – ou linguagem – simbólico, o qual sem seu domínio será muito difícil, ou mesmo impossível, compreender a ciência, uma vez que estaremos limitados a raciocinar sobre objetos reais e não sobre sistemas simbólicos. A seleção natural, a energia ou mesmo o átomo não são objetos do mundo, mas construções conceituais, representações que tentam simular ou modelar o mundo.

As duas características anteriores tornam possível a linha funcional mais importante do pensamento formal: sua *natureza hipotético-dedutiva*. Ao superar a realidade imediata, as operações formais permitem não só procurar explicações para os fatos que estão além da realidade de aparente, mas também submetê-las a comprovações sistemáticas. Esses dois processos, a formulação e a comprovação de hipóteses, estão estreitamente vinculados e diferenciam o pensamento formal de outros tipos de pensamento mais elementares, nos quais a pessoa pode procurar

certas explicações para os fatos, mas elas não passam de conjecturas ou suposições, uma vez que não são submetidas a comprovação. Na ciência, essa comprovação é feita por experimentação baseada no controle de variáveis ou por meio de avaliação de casos ou situações percebidas, e representa uma característica essencial, que também diferencia o pensamento científico de outras formas abstratas de pensamento (religioso, filosófico, etc.).

A partir dessas características gerais, toda forma de pensamento ou conhecimento que exija imaginar outras possibilidades além do real ou imediato e trabalhar com elas como modelos hipotéticos representados em uma linguagem formalizada vai exigir, segundo Piaget, já ter desenvolvido esse pensamento formal. Concretamente, Inhelder e Piaget (1955) sugerem oito *esquemas formais*, oito estruturas de pensamento formal que seriam necessárias para pôr em marcha a maior parte dos processos da ciência e, é claro, a maioria dos procedimentos requeridos para aprender e fazer ciência. Esses oito esquemas seriam os seguintes:

1. As *operações combinatórias* que tornam possível, dada uma série de variáveis ou proposições, esgotar todas as combinações possíveis entre elas para conseguir um determinado efeito. Operações desse tipo seriam as combinações, as variações e as permutações, mas

também seria necessário o uso desse esquema em tarefas científicas que envolvam a procura de uma determinada combinação, como o controle de variáveis.

2. *As proporções* permitem quantificar as relações entre duas magnitudes, sejam a parte e o todo ou duas partes entre si. Estariam conectadas com numerosos conceitos e leis não apenas da matemática, mas também de diferentes áreas da ciência.
3. A *coordenação de dois sistemas de referência* seria um esquema necessário para compreender todas as tarefas ou situações nas quais exista mais de um sistema variável que possa determinar o efeito observado.
4. A *noção de equilíbrio mecânico*, que implica a compreensão do princípio de igualdade entre duas ações opostas dentro de um sistema dado, requer a compreensão operatória – ou seja, mental, não real – entre o estado atual do sistema e seu estado virtual ou possível se certas ações forem realizadas nele.
5. A *noção de probabilidade*, vinculada à compreensão do acaso e, portanto, da causalidade está relacionada tanto com as noções de proporção quanto com os esquemas combinatorios, e seria útil não apenas para a solução de problemas matemáticos, mas também para a compreensão de fenômenos científicos não determinísticos.
6. A *noção de correlação* estaria vinculada tanto à proporção quanto à probabilidade e seria necessária para determinar a existência de uma relação causal “diante de uma distribuição parcialmente forruita”. Seria necessária para a análise de dados e para a experimentação científica em tarefas complexas ou diante de fenômenos probabilísticos.
7. *As compensações multiplicativas* requerem o cálculo da proporção inversa

de duas variáveis para a obtenção de um determinado efeito. Este esquema supõe o uso da proporção e permite ter acesso a conceitos tais como a conservação do volume ou a compreensão do princípio de Arquimedes, além de outras muitas leis científicas que implicam uma relação proporcional inversa entre duas variáveis.

8. *As formas de conservação que vão além da experiência*, vinculadas com a noção de equilíbrio mecânico, implicariam o estabelecimento de leis da conservação sobre elementos não observáveis. Frente às conservações próprias do pensamento concreto, que contam com um apoio perceptivo, estas conservações não observáveis não têm nenhum apoio perceptivo. A conservação da energia ou do movimento retineo uniforme seriam conceitos cuja compreensão exigiria a aplicação deste esquema.

Inhelder e Piaget (1955) supunham, de acordo com seu modelo estrutural, que a capacidade ou competência para operar com estes oito esquemas seria adquirida de um modo sólido ou simultâneo, embora a atualização dessa competência ou a atuação com cada um dos esquemas poderia depender também de certas condições de experiência pessoal ou educacional nas quais elas fossem úteis para a construção de noções específicas. Neste sentido, os esquemas, como operações formais, seriam sólidos não apenas de suas características gerais, descritas na seção anterior, mas também de uma série de supostos sobre sua natureza e funcionamento que possuem sérias implicações para o projeto curricular na adolescência (ver Carretero, 1985).

O domínio dos esquemas formais não só irá determinar a capacidade de utilizar os procedimentos da ciência (raciocínio proporcional, controle de variáveis,

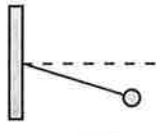
etc.), senão que também seria requisito essencial para compreender as noções fundamentais da ciência, que se baseiam em esquemas ou estruturas conceituais de equilíbrio, conservação, etc. De fato, a partir da teoria de Piaget, tentou-se analisar a compreensão de diversos conceitos científicos em função do tipo de esquema de pensamento utilizado pelos alunos (Shayer e Adey, 1981). Como veremos nos próximos capítulos, a compreensão da maior parte dos conceitos científicos incluídos no currículo de ciências, pelo menos a partir do ensino médio, fica limitada se não forem aplicadas estruturas conceituais próximas destes esquemas formais enunciados por Inhelder e Piaget (1955).

A mesma coisa ocorre com os conteúdos procedimentais do currículo de ciências. O pensamento científico requer utilizar esquemas de pensamento formal, em termos piagetianos. As Figuras 3.6 e 3.7 representam exemplos que ilustram as características do pensamento formal piagetiano em comparação com as formas de pensamento concreto em tarefas científicas.

Mas será que os alunos estão capacitados para utilizar estas formas de pensamento? Será que são capazes de isolar variáveis e raciocinar em um experimento para obter conclusões? Na teoria de Piaget sobre o pensamento formal (Inhelder e Piaget, 1955), ele assumia que o pensamento formal se desenvolve a partir dos

TAREFA DO PÊNDULO

Com o objetivo de analisar o uso que os alunos fazem do pensamento formal, é possível utilizar a seguinte tarefa, uma das que Inhelder e Piaget (1995) utilizaram em sua já clássica pesquisa sobre pensamento formal (mais informações sobre a interpretação da tarefa podem ser encontradas em Carretero, 1985). A tarefa consiste em perguntar aos alunos quais são, em sua opinião, os fatores que afetam a oscilação de um pêndulo. Mostra-se a eles um pêndulo e pede-se o seguinte:



1. Diga quais são, em sua opinião, os fatores que fazem com que o pêndulo oscile um maior número de vezes em um período dado (por exemplo, meio minuto).
2. Explique por que você acredita nisso.
3. Realize as provas adequadas para comprovar o que você pensa, suas hipóteses.
4. Uma vez realizadas essas provas, revise suas hipóteses em função dos resultados obtidos.

As respostas obtidas, em função dos resultados, são as seguintes:

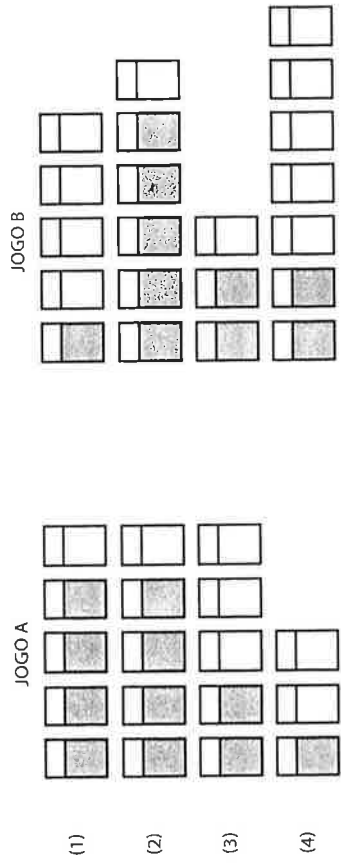
Estágio	Características
Pré-operatório	Os alunos centram-se na ação de dar impulso ao pêndulo, são incapazes de diferenciar entre sua própria atividade e o movimento real do pêndulo
Concreto	São capazes de ordenar e seriar as variáveis (pesos, longitudes, etc.), mas ainda são incapazes de dissociar os diferentes fatores
Formal inicial	São capazes de raciocinar concretamente dissociando fatores que foram previamente estabelecidos para eles
Formal avançado	Têm capacidade de variar sistematicamente os diversos fatores e discriminar variáveis

Figura 3.6

Respostas típicas dos alunos em função de seu estágio evolutivo diante do problema da oscilação do pêndulo.

TAREFA DAS JARRAS

Outro esquema do pensamento formal é o raciocínio proporcional, que pode ser estudado por meio de uma tarefa proposta por Noëling (1980) em que é apresentado um conjunto de jarras que contém suco de laranja (sombreado) ou água (não sombreado). É pedido ao aluno que diga qual das misturas terá mais gosto de suco.



Na tarefa são contempladas todas as relações numéricas possíveis entre as misturas. Em cada item é preciso comparar duas proporções ou razões (a/b) e (c/d), onde a e c representam unidades de suco e b e d representam unidades de água. Assim, o item (1) tem que comparar duas misturas ($4/1$) frente a ($1/4$).

A seguir mostram-se as características que correspondem a cada estágio evolutivo.

Estágio	Características
Estágio Ila	Podem estabelecer relações entre pares nos quais a razão é a unidade; por exemplo, ($3/3$) e ($2/2$). Utilizam as regras qualitativas e aditivas.
Estágio Ilb	Podem fazer deduções a partir de dados nos quais intervém uma razão constante, mas somente se esta razão é um número inteiro; por exemplo ($4/2$) e ($2/1$).
Estágio Illa	Comparam pares utilizando regras de correspondência; por exemplo, os pares ($4/2$) e ($5/3$) são iguais se for extraída de um deles a unidade ($1/1$). A mesma coisa ocorrerá com os pares ($2/1$) e ($5/3$).
Estágio Illb	Podem utilizar corretamente o cálculo proporcional estabelecendo relações entre diferentes magnitudes.

Figura 3.7

Respostas típicas dos alunos em uma tarefa de raciocínio proporcional em função de seu estágio evolutivo.

11-12 anos e que o processo se completaria no final da adolescência, de modo que, em condições normais de escolarização, a maior parte dos adolescentes maiores de 15 anos e os adultos seriam capazes de utilizar espontaneamente formas de pensamento formal. Por outro lado, dado que o desenvolvimento formal está baseado no envolvimento de estruturas lógicas de caráter geral que são subjacentes ao uso de

resolver qualquer tarefa que exija o uso das operações formais, independentemente de qual for o esquema operatório envolvido.

Por outro lado, dado seu caráter proposicional, responderia à estrutura das relações lógicas e não aos conteúdos concretos das tarefas. Segundo isto, o que determinaria a complexidade de uma tarefa não seria seu conteúdo, mas a estrutura lógica das operações necessárias para resolvê-la, a necessidade ou não de utilizar algum dos esquemas formais. Portanto, o pensamento formal ou científico deveria ser adquirido de um modo geral, e não separadamente em cada uma das áreas do currículo ou domínios do conhecimento.

Por tudo isso, do ponto de vista da teoria de Piaget, um objetivo da educação deveria ser fomentar o desenvolvimento do pensamento formal como um dos modos de promover a passagem de uma inteligência adolescente – ou de transição das operações concretas para as formais – para uma inteligência adulta, plenamente formal. Por isso, a educação científica deveria ter seu foco na potencialização de formas mais complexas de pensamento, ou em promover o desenvolvimento do pensamento formal, em vez de proporcionar muitos conhecimentos novos específicos. Seria uma estratégia didática que iria do geral ao específico, das estruturas gerais aos conhecimentos específicos, e não ao contrário. Os conteúdos conceituais específicos (energia, fotossíntese, erosão, etc.) estariam subordinados ao desenvolvimento das formas gerais de pensamento formal que tornaram possível sua compreensão por parte dos alunos.

Contudo, embora a teoria de Piaget continue sendo, hoje em dia, a tentativa mais sistemática de investigação psicológica sobre o pensamento científico, ainda não completamente superada (Bliss, 1993), as pesquisas realizadas nas últimas décadas

questionam alguns dos seus supostos e implicações para o currículo de ciências (para uma revisão e crítica dessas pesquisas, ver Carretero, 1985; Pozo e Carretero, 1987; Garcia Madruga e Corral, 1997). Assim, a pesquisa mostra que a porcentagem de sujeitos que resolvem formalmente tarefas científicas está em torno de 50%, no melhor dos casos. Além disso, dificuldade no uso do pensamento formal não é uma característica “adolescente” (o que confirmaria a impressão de muitos professores), senão que afeta quase por igual adolescentes e adultos (universitários e professores incluídos). Esta falta de generalização no uso do pensamento formal une-se a outro dado: a inconsistência no uso do pensamento formal pelo mesmo sujeito quando passa de um conteúdo para outro.

Resumindo o que parece ser o ponto de vista mais aceito, pode-se dizer que o pensamento formal não é uma capacidade tão geral, mas parece depender bastante do conteúdo a que é aplicado. Podemos dizer que ele é uma condição necessária, mas não suficiente, para resolver tarefas científicas (Pozo e Carretero, 1987). O que mais é necessário? Em um estudo que comparava a resolução de uma tarefa de Física por físicos, historiadores e alunos adolescentes (Pozo, 1987; Pozo e Carretero, 1992), comprovamos que o que diferenciava os físicos dos historiadores eram os conceitos que utilizavam para entender as tarefas. Enquanto os físicos utilizavam conceitos próprios da Física – ainda que nem sempre –, os historiadores, assim como os adolescentes, tendiam a recorrer a ideias ou conceitos alternativos, cientificamente “errôneos” e bastante generalizados. Pareciam mostrar uma “mecânica intuitiva” bastante afastada da mecânica newtoniana contida nos livros que uns e outros haviam estudado. Contudo, em uma tarefa de conteúdo histórico, com esses mesmos sujeitos, ocorria o contrário: eram os físicos que ficavam

mais próximos dos adolescentes (Pozo e Carretero, 1989). O desenvolvimento do pensamento formal, entendido como o domínio dos processos do pensamento científico, não necessariamente garante, contrariando o suposto piagetiano, a compreensão dos conceitos científicos básicos nem, em resumo, a aplicação correta desses processos de pensamento, em forma de procedimentos ou sequências de ação. Ao contrário do que se podia supor, uma concepção formalista da ciência, como a de Piaget, ou mesmo uma concepção indutivista ou positivista, como a de muitos científicos e professores de ciências que assumem que dominar a "metodologia" da ciência é o único requisito para aprender ciência (Wagensberg, 1993), esse aprendizado requer não apenas mudanças nos procedimentos ou formas de pensamento, mas também nas *concepções*, nas ideias e nos conceitos utilizados pelos alunos para interpretar os fenômenos que estudam. E essas mudanças não são um resultado automático da aplicação de determinados procedimentos, mas também requerem um ensino específico.

Este é um dado bastante conhecido na pesquisa recente sobre o ensino da ciência, devido às numerosas investigações que foram desenvolvidas sobre as ideias

prévias ou concepções alternativas dos alunos perante muitos e diversos fenômenos científicos. Além de mudar as atitudes e os procedimentos, o ensino da ciência deve promover uma verdadeira *mudança conceitual* nos alunos, o que, mais uma vez, requer estratégias de aprendizagem e ensino específicas. Segundo um velho ditado, estudar a aprendizagem é como pretender que um grupo de cegos conheça como é um elefante. Somente por meio de aproximações sucessivas eles irão formando representações parciais: um deles tocará uma pata, outro a tromba, outro uma presa; cada um terá sua própria ideia do animal, e somente quando as juntarem obterão uma *visão* aproximada do elefante. A mesma coisa ocorre conosco em relação à aprendizagem da ciência: há muitas partes específicas que é necessário juntar para termos uma visão conjunta, e devemos aceitar que, assim como os cegos e o elefante, somente integrando os diversos componentes da aprendizagem da ciência chegaremos perto de entender suas verdadeiras dimensões. Mas é verdade que, para ser um elefante, a aprendizagem da ciência acabou sendo um elefante bastante complicado.

4

A APRENDIZAGEM DE CONCEITOS CIENTÍFICOS

Da aprendizagem significativa à mudança conceitual

Se um hotentote deseja que o veneno atalme, pega uma de suas peles mais grossas e pendura no extremo de uma vara, na crença de que, ao soprar embaixo da pele, o veneno penetrará 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