

6

Juan Ignacio Pozo e Miguel Angel Gomez Crespo
A aprendizagem e o ensino de ciências: do
conhecimento cotidiano ao conhecimento científico
Artmed, 2009.

A APRENDIZAGEM DA QUÍMICA

Agora, preste atenção; havendo demonstrado que as coisas não podem nascer do nada e nem, uma vez nascidas, serem devolvidas de novo para o nada, (...) deixe-me citar outros corpos cuja existência material você deverá admitir, mesmo sendo invisíveis. (...) A Natureza inteira, enquanto existe por si mesma, consiste em duas substâncias: os corpos e o vazio em que eles estão situados e onde se movem de um lado para outro. Que o corpo existe em si, declara-o o testemunho dos sentidos, comum a todos. (...) Por outro lado, se não existisse o lugar e o espaço que chamamos vazio, os corpos não poderiam assentar-se em lugar algum, nem mover-se em direções diferentes. (...) Pois onde quer que se estende o espaço livre que chamamos vazio, não há matéria; e onde há matéria, não pode haver espaço oco. (...) Os átomos são, portanto, sólidos e simples, formando um todo coerente de partes mínimas (...) é indubitável que nenhum repouso foi concedido aos átomos através do profundo vazio, mas que, agitados em contínuo e variado movimento, alguns quicam, depois de chocar-se, até grandes distâncias, enquanto outros sofrem os golpes dentro de um breve espaço. Aqueles que, mais densamente associados, chocam-se e quicam dentro de exíguos intervalos, travados como estão pelo emaranhado de suas for-

mas, constituem as tenazes raízes dos penhascos, a indômita substância do ferro e os demais corpos deste gênero.

Lucrécio,
De rerum natura

É contrário à razão afirmar que há um vazio ou um espaço em que nada existe em absoluto.

René Descartes

Se em algum cataclismo fosse destruído todo o conhecimento científico e somente passasse uma frase para a geração seguinte de criaturas, qual enunciado conteria o máximo de informação no mínimo de palavras? Eu acredito que é a hipótese atômica (ou o fato atômico, ou como queiram chamá-lo), que todas as coisas estão formadas por átomos – pequenas partículas que se movem com movimento perpétuo, atraindo-se umas às outras quando estão separadas por uma pequena distância, mas se repelindo quando se tenta apertar uma contra a outra. Nessa única frase, verão vocês, há uma quantidade enorme de informação referente ao mundo, bastando aplicar-lhe um pouco de imaginação e pensamento.

Richard P. Feynman,
*The Feynman Lectures
on Physics*

Copiadora

PASTA 7

51 FOLHAS

DATA 7/5/12

A QUÍMICA NOS ENSINOS FUNDAMENTAL E MÉDIO

A química é uma das disciplinas integradas na área de ciências da natureza na Educación Secundaria Obligatoria (ESO).^{*} Seu objetivo principal, dentro desse nível educacional, está centrado no estudo da matéria, suas características, propriedades e transformações a partir da sua composição íntima (átomos, moléculas, etc.). Ou seja, com o estudo da química na ESO (12-16 anos) o que se busca é que os alunos cheguem a compreender algumas das características do mundo que os rodeia: as diferenças entre sólidos, líquidos e gases; por que um cubo de gelo derrete; como se propaga um cheiro por um quarto quando, por exemplo, um vidro de perfume quebra; por que o mercúrio do termômetro dilata quando a temperatura aumenta; como arde o gás butano contido no interior de um isqueiro; e por que o vidro de uma janela embaça quando se aproxima uma chama; além de muitas outras coisas que seria impossível enumerar. Em resumo, pretende-se ensinar o aluno a compreender, interpretar e analisar o mundo em que vive, suas propriedades e suas transformações, recorrendo, com um pouco de imaginação e pensamento, como sugeria Feynman na citação do começo deste capítulo, a modelos que se referem às

^{*} N. de R.T. Neste capítulo, optamos em deixar a denominação dos níveis educacionais da Espanha sempre que a proposta de química era especificamente dirigida ao sistema educacional espanhol. No entanto, quando a proposta educacional espanhola foi semelhante à brasileira, traduzimos com a denominação dos níveis educacionais do Brasil. No currículo básico espanhol da *Educación Secundaria Obligatoria (ESO)*, a química aparece como uma disciplina vinculada à física nos dois últimos anos desse nível. No Brasil, os conteúdos de física e de química são trabalhados dentro da disciplina de ciências naturais no último ano do ensino fundamental e no ensino médio a física e a química são tratadas como disciplinas independentes no currículo.

partículas que, segundo ensina a ciência, constituem a matéria. Para isso, no currículo correspondente à ESO, são propostos os conteúdos mostrados no Quadro 6.1.

No Bachillerato,^{**} essa disciplina vai se tornando independente das outras que fazem parte das chamadas ciências da natureza, de tal modo que no primeiro ano aparece unida à física em uma única disciplina para, posteriormente, no segundo ano, aparecer como uma disciplina independente. A principal finalidade do estudo da química neste nível educacional é aprofundar no estudo da matéria e suas transformações. Para isso, propõe-se uma série de blocos de conteúdo repartidos entre os dois anos, conforme mostrado no Quadro 6.2.

Ao ouvir os conteúdos resumidos nos Quadros 6.1 e 6.2, provavelmente muitos estudantes tremeriam de terror pensando “olha só o que vem para cima de nós.” A mesma coisa pode ocorrer com muitas pessoas adultas para as quais a química traz algumas recordações desagradáveis de sua infância e adolescência. Para muitos, a química trata de algo crítico, apto somente para iniciados vestidos com avental branco e que trabalham em uma sala cheia de frascos e estranhos aparelhos fumegantes que fazem blup, blup, blup...! – provavelmente, um dos exemplos mais claros da visão prototípica do cientista com “avental branco” que mencionávamos no Capítulo 1. Contudo, a química é algo presente em nossa vida diária, muito mais familiar do que a maioria pensa. Tão familiar como fazer um café ou um xarope com um antibiótico infantil. Apesar disso, é verdade que aprender química não é simples, tal como mostra a experiência de muitos professores.

Por que é difícil aprender química? É uma pergunta que tentaremos responder

^{**} N. de R.T. O Bachillerato é um curso de nível secundário pós-obrigatório com a duração de dois anos. Corresponde ao final do ensino médio no Brasil.

QUADRO 6.1**Resumo dos conteúdos relativos à química, a que se faz referência no Decreto de Ensinos Mínimos para a ESO****Diversidade e unidade de estrutura da matéria**

- Características dos sistemas materiais
- Utilização da descontinuidade para explicar algumas das características e propriedades da matéria
- Teoria atômica e natureza elétrica da matéria. União entre átomos
- Classificação dos elementos químicos
- Versatilidade do carbono na formação de compostos
- Manejo de instrumentos de laboratório
- Utilização de alguns procedimentos quantitativos relativos às dissoluções
- Utilização da linguagem química e representação mediante fórmulas de diversas substâncias

As transformações químicas

- Introdução às transformações químicas e sua representação mediante equações
- Conservações em uma reação química e intercâmbio de energia
- Estudo de algumas reações químicas e dos fatores que as influenciam
- Interpretação e representação de equações químicas

QUADRO 6.2**Blocos de conteúdos de química nas disciplinas física e química de 1º ano e química de 2º ano do Bachillerato, propostos no Decreto de Ensinos Mínimos para o Bachillerato**

1º Ano	2º Ano
<ul style="list-style-type: none"> - Aproximação ao trabalho científico - Ciência, tecnologia e sociedade - Teoria atômico-molecular - O átomo e suas ligações - Mudanças materiais e trocas energéticas nas reações químicas - Química do carbono 	<ul style="list-style-type: none"> - Aproximação ao trabalho científico - Química, tecnologia e sociedade - Química descritiva - Termoquímica - Equilíbrios químicos - Reações de transferência de prótons - Reações de transferência de elétrons - Estrutura da matéria. Introdução à química moderna - Química do carbono e química industrial

ao longo deste capítulo, mas sob um ponto de vista muito geral, assim como para outras disciplinas, guarda relação com a interação entre as características específicas da disciplina e a forma como os alunos aprendem. Nos ensinos fundamental e médio, o que se tenta com a química é que os alunos compreendam e analisem as propriedades e transformações da matéria. Mas, para conseguir isso, eles precisam defrontar-se com um grande número de leis e conceitos novos e fortemente abs-

tratos, estabelecer conexões entre esses conceitos e entre os fenômenos estudados e, como se fosse pouco, deparam-se com a necessidade de utilizar uma linguagem altamente simbólica e formalizada junto com modelos de representação analógicos que ajudem a representar aquilo que não é observável.

No final do ensino fundamental e no começo do ensino médio isso se materializa na introdução de conceitos como átomo, molécula e modelos que ajudam

a interpretar as propriedades e mudanças da matéria (por exemplo, o modelo cinético-molecular). Mas no final, a coisa vai além e o aluno, que supostamente domina tudo o que foi aprendido nos anos precedentes, a partir dos conceitos e modelos anteriores, que já eram fortemente abstratos, deve abstrair novos conceitos (por exemplo, quantidade de substância, entalpia, entropia, forças intermoleculares, pH, etc.) que são necessários para compreender as diferentes teorias que vão sendo introduzidas. Aparecem nessa fase, em muitos casos, teorias diferentes para explicar o mesmo fato (por exemplo, as teorias ácido-base ou as que tentam explicar a geometria molecular). Por tudo isso, podemos dizer que, se a química no final do ensino fundamental e início do ensino médio apresenta um grande nível de abstração, estudá-la nos anos finais do ensino médio representa a *abstração sobre a abstração*. E, para enfrentar tudo isto, o aluno carrega as limitações ontológicas, epistemológicas e conceituais que foram assinaladas no Capítulo 4.

Chegando nesse ponto, a pergunta, tal como foi explicado no Capítulo 4, seria: mas é possível que os alunos cheguem a aprender alguma coisa de química? A resposta é que aprendem com muitas difi-

culdades e muito menos do que se espera ou se pretende. Mas também pensamos que, conhecendo quais são as dificuldades que eles têm e qual é sua origem mais provável, vamos poder melhorar essa aprendizagem.

DIFICULDADES ESPECÍFICAS NA APRENDIZAGEM DA QUÍMICA

Embora as pesquisas sobre o aprendizado e o ensino da química sejam menos abundantes do que em algumas áreas da física, como a mecânica ou o calor e a energia, existe um conjunto numeroso de estudos que confirmam a existência de fortes dificuldades conceituais na aprendizagem desta disciplina, que persistem mesmo depois de longos e intensos períodos de instrução, tal como revelam estudos recentes (por exemplo, Pozo e Gómez Crespo, 1997a). A *mudança conceitual*, tal como foi caracterizada no Capítulo 5, também é necessária na química, mas, apesar disso, é pouco frequente e difícil de conseguir se nos ativermos aos dados obtidos pelos estudos até agora realizados neste domínio (por exemplo, Llorens, 1991; Pozo et al., 1991; Driver et al., 1994; Gabel e Bunce, 1994; Stavy, 1995). Sem ânimo de sermos exaustivos, no Quadro 6.3

QUADRO 6.3

Algumas dificuldades na aprendizagem da química

Algumas das dificuldades mais comuns que a aprendizagem da química apresenta nos ensinamentos fundamental e médio são as seguintes:

- Concepção contínua e estática da matéria, que é representada como um todo indiferenciado.
- Indiferenciação entre mudança física e mudança química.
- Atribuição de propriedades macroscópicas a átomos e moléculas.
- Identificação de conceitos como, por exemplo, substância pura e elemento.
- Dificuldades para compreender e utilizar o conceito de quantidade de substância.
- Dificuldades para estabelecer as relações quantitativas entre massas, quantidades de substância, número de átomos, etc.
- Explicações baseadas no aspecto físico das substâncias envolvidas quando se trata de estabelecer as conservações após uma mudança da matéria.
- Dificuldades para interpretar o significado de uma equação química ajustada.

resumimos algumas das dificuldades de aprendizagem que os alunos encontram quando se deparam com o estudo desta ciência, apesar de que a lista poderia ser muito mais extensa e ampla. De fato, os trabalhos citados anteriormente dão lugar a um amplo catálogo de dificuldades relacionadas com a maioria dos conceitos químicos que são desenvolvidos durante os ensinamentos fundamental e médio.

Essas dificuldades de aprendizagem seriam determinadas pela forma como o aluno organiza seus conhecimentos a partir de suas próprias teorias implícitas sobre a matéria. Assim, a compreensão das teorias científicas implicaria superar as restrições que as teorias implícitas mantidas pelos alunos impõem, as quais, tal como assinalávamos no Capítulo 4, diferenciam-se das primeiras em uma série de supostos subjacentes de caráter epistemológico, ontológico e conceitual. De fato, o Quadro 6.4 estabelece essas três dimensões da mudança conceitual para a aprendizagem da química a partir dos critérios desenvolvidos no Quadro 4.7. Apesar de a aprendizagem da ciência não ser um processo linear, senão uma sucessão de numerosos avanços e retrocessos, existe, sim, uma dimensão de mudança que está representada pelas flechas que unem as diversas fases. Da mesma maneira, não há razão alguma para que a mudança conceitual ocorra simultaneamente em cada uma das dimensões horizontais que estão representadas no Quadro 6.4.

Em primeiro lugar, compreender a química envolveria uma mudança na lógica a partir da qual o aluno organiza suas teorias (mudança epistemológica). A passagem dessas primeiras teorias intuitivas dos alunos para uma visão científica dos diferentes problemas implica superar concepções organizadas em torno daquilo que temos chamado de *realismo ingênuo*, com uma visão do mundo centrada em seus aspectos perceptivos (as coisas são

como nós as vemos), e substituí-las pelo que temos chamado de *construtivismo ou relativismo*, caracterizado por uma interpretação da realidade a partir de modelos, de tal maneira que conceitos como, por exemplo, números quânticos, orbitais, etc., não precisam ser entes reais, senão que são aceitos como construções abstratas que ajudam a interpretar a natureza da matéria e suas propriedades. Ou seja, os diferentes conceitos e magnitudes que são utilizados na descrição da matéria não existiriam em si, e sim seriam definidos e adquiririam sentido dentro do marco de uma teoria.

Mas a maioria dos alunos dos ensinamentos fundamental e médio não está em nenhum desses estágios: está em posições intermediárias, o que temos chamado de realismo interpretativo. A maioria deles aceita a existência de órbitas eletrônicas, orbitais atômicos, etc., não como modelos ou construções conceituais que ajudam a explicar as propriedades da matéria a partir da perspectiva de um modelo concreto, mas como entes reais, que não é possível ver a simples vista, mas que a tecnologia associada à pesquisa química ajudou a descobrir ou, se for o caso, ajudará a ver. Isso provoca, nos exemplos anteriores, que, vistos a partir de uma perspectiva *realista*, órbitas e orbitais sejam interpretados de modo indiferenciado, como se fossem um suporte material ou uma pista pela qual o elétron desliza (por exemplo, Cros, Chastrette e Fayol, 1988), o que leva, por sua vez, a que seja muito difícil fazer uma distinção entre os diversos modelos da estrutura do átomo. Também veremos mais adiante como esse realismo, que leva a confundir os diferentes conceitos com propriedades reais ou características materiais, dificulta a compreensão do modelo corpuscular da matéria e faz com que propriedades macroscópicas sejam atribuídas às partículas constituintes da matéria.

QUADRO 6.4

A mudança conceitual na aprendizagem da química. O quadro mostra as três dimensões da mudança conceitual definidas no capítulo anterior e aplicadas à compreensão da química

Princípios epistemológicos		
Realismo ingênuo	➔	Realismo Interpretativo
A matéria é tal como a vemos. O que não se percebe não se concebe.		Há coisas que não podemos ver, mas a química nos ajuda a descobrir como a matéria realmente é.
	➔	Construtivismo
		A química nos proporciona diferentes modelos a partir dos quais podemos interpretar a realidade.
Princípios ontológicos		
Estados	➔	Processos
São reconhecidos estados e propriedades da matéria.		As mudanças entre estados, ou de propriedades, são explicadas por meio de processos.
	➔	Sistemas
		A matéria é interpretada em termos de relações entre os elementos de um sistema.
Princípios conceituais		
Fatos ou dados	➔	Causalidade linear (de simples para múltiplo)
A matéria é tal como se vê: contínua e estática. As partículas possuem as mesmas propriedades do sistema macroscópico a que pertencem.		Mudanças da matéria causadas por um agente unidirecional e explicadas a partir da modificação das características externas. Mudanças causadas por vários agentes que somam seus efeitos.
	➔	Interação
		A matéria é concebida como um sistema de partículas que interagem.
Mudança sem conservação	➔	Mudança com conservação
Só muda aquilo que vemos que se modifica. Há necessidade de explicar o que muda, mas não o que permanece.		Aceita-se a conservação de propriedades não observáveis depois de uma mudança unidirecional causada por um agente externo.
	➔	Conservação e equilíbrio
		Mudanças interpretadas em termos de interação entre partículas ou sistemas, o que leva à conservação de propriedades não observáveis e ao equilíbrio.
Relações qualitativas	➔	Regras heurísticas
Interpretação qualitativa dos fenômenos químicos.		Aproximação quantitativa por meio das regras heurísticas simplificadoras.
	➔	Relações quantitativas
		Integração dos esquemas de quantificação (proporção, probabilidade e correlação) nos modelos.

Em segundo lugar, a mudança conceitual implicaria uma mudança no conjunto de *objetos* assumidos na sua própria teoria (mudança ontológica). As teorias mais incipientes seriam baseadas na existência de diferentes *estados* para os objetos ou sistemas (quente ou frio; sólido, líquido ou gás; vermelho ou verde; mole ou duro; etc.), e permitiriam aos alunos descrever as propriedades observáveis da matéria, mas não suas possíveis transformações. Para isso, é necessário que também aceitem a existência de *processos* que explicariam as mudanças entre os diferentes estados ou propriedades (o leite esfria, o gelo derrete, etc.). Finalmente, a última fase de desenvolvimento implicaria aceitar a existência de *sistemas* nos quais o conjunto de interações ajudaria a compreender, a partir de diferentes pontos de vista, os *mecanismos* das mudanças que o sistema experimenta e prever suas propriedades.

E para finalizar, em terceiro lugar, compreender a química implicaria uma mudança no marco em que estão inscritos os conceitos envolvidos. Frente a uma visão centrada nos fatos e nas propriedades observáveis das substâncias, torna-se necessário compreender a matéria como um complexo sistema de partículas em contínua interação. Frente à interpretação das mudanças baseada nos aspectos perceptivos dos estados inicial e final, é necessário compreender a conservação de propriedades não observáveis da matéria e concebê-la como um complexo sistema em equilíbrio. E, frente a uma visão qualitativa do mundo, tal como tendemos a fazer em nossa vida cotidiana, compreender a química implica a utilização de esquemas de quantificação mais ou menos complexos.

Do ponto de vista do ensino, entre estes três pressupostos (epistemológicos, ontológicos e conceituais) que caracterizariam as teorias mantidas pelo aluno, o que mais nos interessa é o terceiro, que se re-

fere às dificuldades conceituais da aprendizagem das teorias químicas. Conforme já afirmamos, existe um amplo catálogo dessas dificuldades conceituais, e já apresentamos alguns exemplos no Quadro 6.3. Contudo, nem todos os conceitos da química apresentam as mesmas dificuldades para sua aprendizagem ou são igualmente relevantes. Portanto, surge a necessidade de hierarquizar as dificuldades conceituais, pois isso ajudará a utilizar os dados proporcionados pelas diferentes pesquisas como critérios para fundamentar as decisões na organização e no sequenciamento dos conteúdos conceituais no currículo de ciências. Frente à avalanche de pesquisas “descritivas” sobre as concepções alternativas, é necessário ir introduzindo uma certa ordem teórica e rigor metodológico que permitam estabelecer essa hierarquização ou organização conceitual nas dificuldades de aprendizagem.

O estudo das dificuldades de aprendizagem da química pode ser mais simples se levarmos em consideração que, longe de estarem isoladas, existe uma estreita relação entre a maioria delas, de tal modo que a maior parte dos conteúdos da química elementar podem ser organizados em torno de três núcleos conceituais fundamentais (Pozo et al., 1991; também Gómez Crespo et al., 1992): a natureza corpuscular da matéria, a conservação de propriedades da matéria e as relações quantitativas. Do nosso ponto de vista, o acesso a essas três estruturas conceituais requer diversas formas de mudança conceitual e facilita uma assimilação mais adequada de múltiplos conceitos específicos, dos quais são dependentes e que foram o objetivo da maior parte das pesquisas realizadas até agora (Gómez Crespo, 1996). Da mesma maneira, esses três núcleos estariam diretamente relacionados com o uso dos três esquemas conceituais descritos no Capítulo 4 e aqui citados, imprescindíveis para a compreensão da

ciência: interação, conservação e quantificação. No restante do capítulo vamos descrever e analisar em separado as características de cada um desses três núcleos de conteúdos, para finalizar com uma seção dedicada aos procedimentos de trabalho próprios dessa disciplina.

A NATUREZA DA MATÉRIA COMO UM SISTEMA DE INTERAÇÃO ENTRE PARTÍCULAS

Como já foi dito, uma parte importante dos conteúdos de química nos ensinos fundamental e médio é dedicada a explicar a natureza e as propriedades da matéria e as mudanças que esta pode sofrer. Portanto, os estudantes devem assumir que a matéria tem uma natureza descontínua, compreendendo que, para além de sua aparência visível ou dos diversos estados em que pode se apresentar, sempre é formada por átomos, pequenas partículas que estão em contínuo movimento e interação, que podem se combinar para dar lugar a estruturas mais complexas e entre as quais não existe absolutamente nada, o que implica a complexa e abstrata ideia de vazio.

Essas noções sobre como é constituída a matéria são fundamentais para descrever e explicar sua estrutura nos diversos estados em que ela se apresenta (por exemplo, as diferenças entre os três estados: sólido, líquido e gás), suas propriedades (por exemplo, a difusão dos gases ou a dilatação dos corpos) e, em geral, todas as mudanças que possam ocorrer em sua estrutura, tanto físicas quanto químicas.

Contudo, numerosos trabalhos (por exemplo, Stavy, 1988; Llorens, 1991; Pozo et al., 1991; Pozo e Gómez Crespo, 1997a; Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993) mostram que, assim como ocorreu ao longo da história da Ciência, os estudantes têm muita dificuldade em aceitar

e utilizar o modelo corpuscular em suas interpretações das propriedades da matéria e que esse modelo interpretativo está bastante afastado da percepção e da intuição imediatas. Foi preciso que transcorressem muitos séculos desde que filósofos como Demócrito, cujas ideias foram recolhidas por Lucrecio, postularam os primeiros modelos atômicos da matéria até que as concepções atomistas dispusessem de uma estrutura teórica e metodológica suficientemente convincente para impor-se no âmbito científico sobre as aparentemente mais plausíveis teorias da continuidade da matéria. O que muitas vezes é apresentado aos alunos como um fato fora de discussão – que a matéria é composta por partículas unidas entre si segundo certas leis, separadas por um espaço vazio e que as mudanças que experimenta se explicam a partir da interação entre elas – foi debatido e rejeitado durante muitos séculos por filósofos tão renomados como Aristóteles ou Descartes. Inclusive cientistas tão importantes como Newton, que ao mesmo tempo que revolucionava para sempre nossa concepção do mundo físico e aceitava um modelo atômico baseado na mecânica, continuava apegado a crenças “medievais” e “pré-científicas”, como a transmutação ou o fabuloso poder da alquimia.

Se esse foi o lento desenvolvimento da construção dos modelos corpusculares da matéria na história da química, não devem causar estranheza as dificuldades dos alunos para compreender esses mesmos modelos. De fato, esse é o núcleo conceitual que para eles é mais difícil aprender (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993; Pozo e Gómez Crespo, 1997a). Assim, encontramos que, mesmo que os alunos cheguem a vislumbrar, em algumas tarefas ou situações, a possibilidade de um mundo descontínuo oculto no mundo contínuo que enxergam diariamente, tendem a voltar às suas teorias intuitivas, muito mais pró-

ximas do mundo que os rodeia, por duas razões. A primeira é a crença, comum no conhecimento cotidiano, na semelhança entre as causas e os efeitos. Se, como se diz a eles, a “conduta” da matéria depende de sua estrutura íntima, nada mais “razoável”, visto de uma perspectiva *realista*, que atribuir a essas causas não observáveis (partículas) propriedades similares àquelas que possuem seus efeitos (mundo observável).

Mas há um *segundo fator*, não menos importante, que ajudaria a explicar as dificuldades para assumir a descontinuidade da matéria. Apesar de isso nunca ter recebido excessiva atenção na pesquisa realizada até agora sobre a compreensão da química, pensamos que por trás dessas dificuldades há um problema subjacente de representação do que não é observável. Na medida em que o aluno deve abandonar os indícios perceptivos como fonte de representações da estrutura da matéria, lhe falta outros códigos alternativos de representação. Dito em outras palavras, se as imagens que os alunos percebem do mundo não são suficientes para compreender a estrutura da matéria, o ensino não consegue proporcionar sistemas de representação alternativos que permitam aos alunos compreender sua natureza. Os sistemas proposicionais que lhes são oferecidos – matemáticos, algébricos ou por meio de símbolos químicos e, apenas em alguns casos, analógicos – não seriam suficientes.

Tudo isso se materializa em teorias sobre o comportamento da matéria que coexistem e competem, na maioria dos casos com vantagem, com as teorias que são apresentadas na escola (ver Quadro 6.5). De fato, longe de utilizar a teoria escolar como um novo marco interpretativo dos fatos que conhecem, recorrem à sua teoria implícita para reinterpretar os novos dados proporcionados por essa teoria. Assim, o aluno, que não tem razão alguma para duvidar das *autoridades na*

disciplina, aceita facilmente alguns elementos da nova teoria, a “existência” de partículas que não podem ser vistas, mas elas passam a ter as propriedades que a matéria tem no mundo macroscópico, que para eles é mais familiar.

As teorias dos alunos sobre a matéria estariam, portanto, estruturadas a partir de *fatos ou dados* (na terminologia que utilizamos no Capítulo 4), o que se materializa em uma série de crenças sobre o mundo que os rodeia. Assim, se as partículas fazem parte da matéria, atribuem a elas as mesmas propriedades do objeto ou do sistema de que fazem parte, sendo algo parecido a pequenos grãos ou pedaços dessa matéria. A matéria seria contínua, tal como nós a vemos e, como Descartes, os alunos considerariam contrária à razão a existência de um espaço vazio no qual não houvesse absolutamente nada. Por sua vez, o estado natural das coisas – incluídas essas partículas diminutas de que falam os livros e o professor – seria o repouso, de modo que elas só se moveriam se houvesse um agente ou causa externa que provocasse o movimento (no capítulo seguinte, será tratado com mais detalhe o problema do movimento dos corpos).

Porém, interpretar as mudanças da matéria requer chegar um pouco mais longe. Perante o sistema complexo de partículas em contínua interação proposto pela teoria escolar, uma grande parte dos alunos dos ensinos fundamental e médio interpretaria as mudanças a partir de um modelo causal simples e unidirecional, caracterizado pelo fato de que as partículas experimentam as mesmas mudanças que a matéria observável (por exemplo, dependendo do caso, podem evaporar, queimar, dilatar, etc.). As partículas são consideradas como pedaços de matéria contínua, divisível e estática e, portanto, terão mais matéria entre elas e somente irão se agitar ou vibrar se houver um agente externo que cause esse movimento (movimento da gar-

QUADRO 6.5**Interpretação da matéria como um sistema de partículas em interação**

<p>Fatos e dados dos quais o aluno parte e que o levam a adotar determinadas crenças</p>	<p>Crenças do aluno</p> <ul style="list-style-type: none"> - A matéria é tal como a vemos: contínua e estática. O repouso é seu estado natural e não existe vazio. - Basta uma descrição macroscópica para explicar as características da matéria, embora, às vezes, seja possível recorrer às partículas. - Se a matéria está constituída por partículas, estas devem ter as mesmas propriedades que o sistema ao qual pertencem. - Se as partículas explicam o comportamento da matéria, quando esta sofre uma mudança suas partículas devem experimentar a mesma mudança. - Quanto mais parecidas forem as substâncias inicial e final, menor será a mudança atribuída às partículas.
<p>Causalidade linear e unidirecional</p>	<p>Relações causais que o aluno estabelece</p> <ul style="list-style-type: none"> - As mudanças que a matéria experimenta estão determinadas pela mudança de suas características externas. - As mudanças que as partículas sofrem coincidem com as mudanças macroscópicas da substância estudada (cor, estado físico, aspecto, etc.). - As partículas somente podem sair de seu estado natural, o repouso, quando houver um agente que provoque a mudança. - As mudanças nas partículas são causadas por um agente externo. Quanto à interação entre elas, é unidirecional: uma partícula provoca a mudança da outra.
<p>Interação entre partículas O objetivo dos ensinamentos fundamental e médio</p>	<p>A matéria como um sistema de interação entre partículas</p> <ul style="list-style-type: none"> - A matéria está formada por partículas. - As partículas movimentam-se continuamente e em interação. - Entre as partículas não há absolutamente nada, vazio. - As partículas podem agrupar-se em estruturas mais complexas. - As interações entre partículas provocam mudanças em seu movimento ou nas associações entre partículas, que são responsáveis pelas mudanças macroscópicas da matéria.

rafa no caso dos líquidos, presença de uma corrente de ar no caso dos gases, etc.).

Em geral, pode-se dizer que a maioria dos alunos utiliza muito pouco o modelo corpuscular em suas explicações quando precisam interpretar algum fenômeno químico cotidiano ou escolar. Assim, quando enfrentam um problema, recorrem espontaneamente a interpretações que descrevem o fenômeno a partir das proprieda-

des macroscópicas da matéria, muito mais próximas das dimensões “físicas” do mundo *real*, frente às microscópicas do *modelo* corpuscular. Contudo, eles praticamente não têm problema em aceitar a existência dessas diminutas partículas de que se fala na escola, mas, é claro, apontando nelas todas as propriedades que atribuem ao mundo que os rodeia. No Quadro 6.6 são mostrados alguns exemplos de respostas

QUADRO 6.6**Alguns exemplos de respostas de alunos de diversas idades para três perguntas que envolvem uma interpretação de mudanças da matéria**

Por que uma bala dissolve na água e uma pedra não?

"...a bala contém substâncias solúveis e a pedra não..."

"A pedra não dissolve... é dura e forte e foi feita pela natureza."

"A bala tem partículas que dissolvem e a pedra não."

"As partículas da pedra estão mais juntas que as da bala."

Por que uma camisa seca quando é estendida ao sol?

"...o calor evapora a água..."

"...os raios do sol emitem calor que é o que faz que seque."

"...o ar atua como um secador..."

"...o calor elimina a umidade..."

"As moléculas de água com o calor transformam-se em gases..."

Por que o mercúrio do termômetro "sobe" quando aumenta a temperatura?

"...o mercúrio aumenta de tamanho com o calor..."

"...na mesma pressão, ao aumentar a temperatura aumenta o volume..."

"...ao aumentar a temperatura aumenta a pressão..."

"...a uma certa temperatura, o mercúrio aumenta seu nível..."

"...suas moléculas dilatam com o calor..."

"...ao interagir as partículas de mercúrio com a temperatura... faz com que ele perca densidade e, portanto, tenda a subir..."

dos estudantes para diversos problemas, que podem servir como ilustração para o que estivemos expondo. Temos, então, duas questões relativas à compreensão e à utilização do modelo corpuscular. Tentaremos, a seguir, analisá-las de maneira independente: quando e como se utiliza esse modelo.

Quando se utiliza o modelo corpuscular

As pesquisas que realizamos sobre a utilização por parte dos alunos do modelo corpuscular em suas explicações (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993, 1999) mostram que existe uma porcentagem importante de indivíduos que enfrentam dificuldades na hora de entender a matéria como descontínua e de utilizar espontaneamente o modelo em suas explicações, independentemente do grau de instrução química recebida. Assim, é comum encon-

trar que, apesar de a utilização aumentar com a idade das pessoas estudadas, não há diferenças significativas em seu uso entre adolescentes que cursam estudos científicos e aqueles que não cursam. Ao que parece, a ativação desse modelo por parte dos estudantes depende mais de variáveis como a apresentação da tarefa ou o contexto em que ela é apresentada. De fato, temos encontrado que, se a tarefa não induz isso de modo explícito, os sujeitos recorrem em escassa medida aos seus conhecimentos de química para explicar suas respostas, tanto no caso dos estudantes do ensino médio como, inclusive, quando se trata de estudantes universitários. Assim, diante de perguntas abertas reunindo situações cotidianas (por exemplo, por que uma camisa seca ou por que sobe o mercúrio de um termômetro quando aumenta a temperatura?), nas quais o sujeito pode fazer espontaneamente a interpretação que for mais adequada para

ele, somente 20% das respostas chegam a se referir à composição corpuscular da matéria (podem ser vistos alguns exemplos no Quadro 6.6). Quando, ao contrário, se induz de alguma maneira esse tipo de resposta (por exemplo, por meio de questionários de múltipla escolha nos quais se alternam respostas macroscópicas com respostas em termos da teoria corpuscular; alguns exemplos podem ser vistos no Quadro 6.7), as respostas microscópicas aumentam, apesar de, neste caso, geralmente aparecerem acompanhadas por outras interpretações baseadas nas próprias concepções pessoais dos alunos, de modo que a representação resultante aparece confusa, devido à uma assimilação acrítica e superficial do modelo corpuscular, misturando a informação proporcionada

pela instrução com suas próprias concepções prévias.

Da mesma maneira, temos encontrado (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1999) que a utilização do modelo corpuscular é afetada pela dificuldade e pelo conteúdo da tarefa. Os alunos com menos idade (por exemplo, no início do ensino médio), quando precisam optar entre diversas respostas tendem a escolher mais frequentemente o modelo corpuscular, ainda que de maneira errônea, quando aumenta a complexidade da tarefa. Por exemplo, utilizam esse modelo em maior proporção quando se trata de explicar um fenômeno do que quando se trata de descrevê-lo (no Quadro 6.7 são mostrados dois exemplos de questões com diferente nível de resposta). Com os alunos do fim dos ensinos

QUADRO 6.7

Exemplos de questões sobre estrutura da matéria com formato descritivo e explicativo

Exemplo de questão com um nível de resposta descritivo

Temos um recipiente cheio de ar em que colocamos um balão na boca. Aquecemos o recipiente e vemos como o balão vai enchendo. Por que você acha que o balão encheu?

- A. As partículas de ar estão mais separadas umas das outras e por isso ocupam mais espaço.
- B. Com o calor o ar dilata e ocupa mais espaço, por isso o balão enche.
- C. Com o calor o ar concentra-se na parte de cima, no balão.
- D. As partículas de ar dilatam-se com o calor e, ao aumentar de tamanho, precisam de mais espaço.

Exemplo de questão com um nível de resposta explicativo

Quando deixamos uma bola ao sol observamos que com o passar do tempo ela fica mais cheia. Por que você acha que isso acontece?

- A. Porque com o calor as partículas de ar que estão dentro da bola se movimentam mais depressa, ocupam mais espaço e a bola enche.
- B. Porque com o calor o ar presente no interior da bola sofre uma dilatação, ocupando mais espaço, e a bola enche.
- C. Porque o calor faz com que aumente a quantidade de ar que há no interior da bola e por isso ela está mais cheia.
- D. Porque com o calor as partículas de ar que estão dentro da bola dilatam, precisam de mais espaço e por isso a bola enche.

As duas questões estão construídas de modo que correspondam às quatro opções com quatro categorias de resposta definidas: A. Resposta microscópica correta. B. Resposta macroscópica correta. C. Resposta macroscópica incorreta. D. Resposta microscópica incorreta.

fundamental e médio, cujo nível de conhecimentos de química é maior, ocorre o contrário. Mas isso não quer dizer que os alunos dos ensinamentos fundamental e médio compreendem melhor o modelo corpuscular. Parece, na verdade, que quando o cenário se torna complicado eles costumam escolher as respostas mais complexas, mesmo que elas estejam cheias de erros. Ou seja, quando a tarefa é mais complicada ou tem uma aparência mais formal, tendem a escolher aquelas respostas que “parecem mais de química”.

Por outro lado, o tipo de fenômeno estudado também influencia. Assim, temos visto que, quando se trabalha com mudanças de estado, os alunos tendem a utilizar muito menos o modelo corpuscular do que quando se está tratando das dissoluções e das reações químicas. Isso parece estar relacionado com a familiaridade do problema e com sua “aparência química”. Assim, as tarefas sobre mudanças de estado utilizadas nas pesquisas apresentam situações muito familiares para o aluno, nas quais uma determinada substância muda seu estado físico (água que congela, álcool que evapora, manteiga que derrete, etc.), e, por essa razão, o aluno tende a escolher respostas que descrevem o fenômeno em termos macroscópicos. Contudo, quando se trata de soluções e reações, com situações que, mesmo sendo aparentemente familiares, resultam mais complexas e “parecem mais com química” (intervenção de duas substâncias, obtenção de substâncias novas, etc.), os alunos tendem a utilizar aquelas respostas que aparentam ser mais “químicas”. Contudo, como já foi mostrado anteriormente, o fato de utilizar mais representações corpusculares não quer dizer que elas se utilizam melhor, senão que, ao mesmo tempo que aumenta o uso desse modelo, aumenta também o número de erros conceituais (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1999).

A pesar de tudo, tal como já foi dito, a utilização espontânea do modelo corpuscular é muito escassa, a explicação macroscópica é suficiente para explicar fatos como a dilatação do mercúrio em um termômetro ou que uma camisa seque ao sol (ver os exemplos que são apresentados no Quadro 6.6). De fato, o uso espontâneo das concepções macroscópicas não é afetado pela instrução, nem específica nem geral (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1999), o que nos aproxima da hipótese da coexistência de diversas teorias alternativas no mesmo indivíduo. Isso leva a pensar que, em muitos casos, a ausência de respostas microscópicas espontâneas não se deve à incompreensão dos modelos corpusculares, senão à coexistência das interpretações microscópicas – em termos das partículas constituintes da matéria – e macroscópicas – em termos de parâmetros físicos observáveis – no mesmo sujeito, às quais ele recorre em função da demanda da tarefa (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993).

Como se utiliza o modelo corpuscular

Contudo, o que varia com a instrução – e com a conseqüente mudança conceitual, se é que ela que ocorre – é a interpretação que os alunos fazem da teoria atômico-molecular quando recorrem a ela. Em geral, as noções de conservação, aplicadas ao nível microscópico (conservação do tamanho e número de partículas, etc.), suscitam poucas dificuldades, similares às que serão descritas mais adiante, quando analisarmos o problema das conservações não observáveis nas mudanças da matéria. Contudo, a compreensão que os alunos têm dos mecanismos e das relações entre as partículas afasta-se bastante da concepção científica. Assim, tendem a atribuir propriedades errôneas às partículas, utilizando, em muitas ocasiões,

“ideias mistas” entre suas próprias concepções e as científicas. Em geral, observa-se uma tendência a interpretar o mundo microscópico em termos macroscópicos, atribuindo às partículas constituintes da matéria propriedades similares às características observáveis do sistema (quando se extrai o ar de um vidro, as partículas que ficam nele concentram-se no fundo; se um gás aumenta de volume ou muda de cor, a mesma coisa acontece com suas partículas; os átomos de cobre são vermelhos; etc.). Poderíamos dizer que eles utilizam suas representações macroscópicas, de senso comum, baseadas em estruturas simplificadoras agente-objeto, para interpretar as relações entre partículas, em vez de recorrer aos esquemas de interação nos quais se baseiam essas relações na teoria corpuscular, tal como lhes é ensinado. Ou seja, “os adolescentes acabam explicando o funcionamento das partículas a partir das propriedades do mundo macroscópico, em vez de, como propõe a teoria atômico-molecular, explicar as propriedades do mundo macroscópico a partir do funcionamento das partículas” (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993, p. 349).

Tudo isso se traduz em uma dificuldade para interpretar, em termos de interações dentro de um sistema, as relações entre as partículas e, especialmente, na incompreensão de três noções fundamentais, que se chocam com teorias alternativas muito consistentes baseadas na aparência observável da matéria: o movimento intrínseco das partículas que constituem a matéria, o mecanismo envolvido nas mudanças e a ideia de vazio.

A compreensão do movimento intrínseco das partículas

A compreensão do movimento intrínseco das partículas é um dos núcleos conceituais que gera mais dificuldades

de aprendizagem, dado que existem fortes e persistentes teorias alternativas – baseadas na percepção do nosso mundo *mesocósmico* cotidiano – à ideia de que as partículas estão em contínuo movimento e interação. No mundo, tal como nós o percebemos, a matéria está inerte, em repouso, a não ser que algum agente atue sobre ela. Assim, as concepções alternativas sobre o movimento são bastante persistentes e consistentes (Pozo e Gómez Crespo, 1997a).

A instrução, inclusive nos níveis universitários, não parece modificar facilmente essas concepções, e com muita frequência não consegue tornar compreensível ou aceitável o modelo científico, baseado em um movimento contínuo e intrínseco das partículas, que varia em função de sua interação com outras partículas. De fato, foi comprovado que em muitas tarefas os estudantes universitários de química continuam utilizando preferencialmente o modelo “macroscópico” cotidiano da matéria inerte (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993; Pozo e Gómez Crespo, 1997a). Inclusive, entre os alunos adolescentes a instrução específica em ciências não apenas não torna mais verossímil a teoria científica como, em alguns casos (por exemplo, quando são estudadas substâncias em estado sólido), chega a reforçar as concepções alternativas opostas ao movimento intrínseco. Nesse sentido, uma das variáveis que resultou mais explicativa é a do estado de agregação da matéria. De fato, quase todas as revisões sobre as concepções alternativas em química consideram que elas, diferentemente do que ocorre com as teorias científicas, variam em função do estado da matéria que estamos estudando (por exemplo, Driver et al., 1994; Gabel e Bunce, 1994; Pozo et al., 1991; Stavy, 1995). Nesse caso, comprovamos que a ideia do movimento intrínseco é atribuída mais facilmente aos gases e aos líquidos do que aos sólidos

(Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993; Pozo e Gómez Crespo, 1997a).

De acordo com o modelo de mudança conceitual exposto no Capítulo 5, esta representação diferenciada do movimento da matéria em seus diferentes estados de agregação poderia ser devida ao fato de os alunos não diferenciarem entre o *movimento intrínseco* das partículas que compõem um material e o *movimento aparente* desse mesmo material, ou seja, sua aparência perceptiva. Essa falta de diferenciação entre o nível microscópico de análise da matéria, que é o que a química proporciona, e nossa percepção macroscópica dessa mesma matéria faz com que eles atribuam movimento intrínseco aos gases, mas não aos sólidos; ao mesmo tempo, no caso dos líquidos, eles tendem a atribuir movimento quando o líquido tem um movimento aparente (por exemplo, no mar ou em um refrigerante com gás) e, em compensação, fazem uma interpretação estática quando o líquido não se movimenta (por exemplo, em um copo d'água que permanece quieto sobre uma mesa); com isso, a variável relevante seria não tanto o estado de agregação quanto seu estado *aparente* de movimento ou repouso.

A compreensão do movimento intrínseco das partículas como um processo diferenciado de sua aparência macroscópica é difícil, como já vimos, e nem sequer uma instrução científica específica garante que o aluno chegue a tê-la adequadamente. Mas mesmo no caso de essa diferenciação ser alcançada, para uma adequada compreensão da teoria cinética ela deverá completar-se com uma integração conceitual entre ambos os níveis de análise previamente diferenciados, de acordo com a ideia de *integração hierárquica* exposta no Capítulo 5, de modo que a análise microscópica das interações entre as partículas permita *explicar* a aparência macroscópica que a matéria adota em cada um de seus estados, assim como

as mudanças que podem ocorrer nessa aparência como consequência das diferentes combinações e relações entre as partículas. Nesse sentido, a compreensão do movimento intrínseco, integrada em uma teoria cinético-molecular, facilitaria aos alunos a compreensão das mudanças que ocorrem na matéria, sejam de caráter essencialmente físico, quando a estrutura molecular da substância não muda, ou de natureza química, quando, como consequência de uma reorganização ou reestruturação molecular, é formada uma nova substância não presente inicialmente. Contudo, a noção de movimento intrínseco, embora necessária, não bastaria para assegurar uma compreensão dos mecanismos explicativos que são subjacentes às mudanças físicas e químicas que ocorrem na matéria.

Os mecanismos explicativos das mudanças da matéria

Explicar as mudanças da matéria implica compreender o mecanismo subjacente à mudança em termos de interação entre partículas. Contudo, parece que a instrução específica em química também não tem um efeito determinante na compreensão destes mecanismos explicativos; o que é determinante é o nível educacional e a idade dos alunos (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993; Pozo e Gómez Crespo, 1997a). Assim, os estudantes do final do ensino fundamental e do início do ensino médio praticamente não usam a teoria cinética para explicar as mudanças da matéria, uma vez que sequer assimilaram a noção de movimento intrínseco, enquanto adolescentes mais velhos (por exemplo, nos últimos anos do ensino médio) utilizam com mais frequência explicações baseadas neste modelo, apesar de mostrarem sérias dificuldades conceituais em seu uso.

Contudo, junto com essa influência global da instrução sobre a compreensão da teoria cinética como um modelo *explicativo* do funcionamento da matéria, observamos, como em outros casos, que o uso desse modelo está fortemente condicionado pelo conteúdo químico da situação e, mais especificamente, pelo tipo de mudança que ocorre na matéria. De modo geral, a compreensão em termos cinético-moleculares resulta mais fácil quando se trata de uma *dissolução* entre duas substâncias (por exemplo, quando se dissolve uma gota de tinta na água) ou de uma reação química (por exemplo, a ação de um ácido sobre o bicarbonato). Ao contrário, as situações que envolvem *uma mudança de estado da matéria* (por exemplo, a evaporação da água ou a fusão do gelo) são mais difíceis de explicar nesses termos. Mas a tarefa que suscita mais dificuldades conceituais é a *dilatação* de uma barra de ferro pelo efeito do calor (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993; Pozo e Gómez Crespo, 1997a).

Esse efeito do tipo de mudança sobre a dificuldade conceitual parece estar relacionado com a presença de duas substâncias no problema (soluções e reações), o que facilita a interpretação em termos de interação entre dois entes diferentes. A situação torna-se mais complicada quando aparece um único tipo de partícula (mudança de estado e dilatação), porque é mais difícil reconhecer a interação entre duas entidades iguais. Uma possível explicação para a maior dificuldade de aplicar a teoria cinética à compreensão das dilatações e às mudanças de estado é que nessas situações os indivíduos, para conseguirem uma explicação adequada, devem situar a ideia do movimento intrínseco dentro de um sistema de inter-relações com a temperatura, a densidade e a distribuição das partículas. Já não se trata apenas de atribuir ou não movimento às partículas, mas de relacionar seu movimento relativo com

as mudanças produzidas por um agente externo na temperatura e na distribuição das partículas que alterariam o estado aparente da matéria. Pelo contrário, em termos do modelo cinético, no nível em que colocávamos as tarefas, as dissoluções envolviam apenas uma mistura entre as partículas de diversas substâncias, o que não exigiria estabelecer relações sistemáticas entre movimento, temperatura e distribuição das partículas e, portanto, eram mais fáceis. Em outros núcleos conceituais, como a conservação da matéria, as dificuldades relativas são muito diferentes. Nas conservações, as situações em que intervêm mais de uma substância, como as soluções ou as reações, são mais complexas do que aquelas em que só está presente uma substância, como as mudanças de estado ou as dilatações (Gómez Crespo, Pozo e Sanz, 1995).

Essa diferença na dificuldade entre os tipos de mudança também está relacionada com a natureza das concepções alternativas à teoria cinético-molecular mantidas pelos alunos para explicar as mudanças que ocorrem na matéria. Diferentemente do que afirmam outros autores (por exemplo, Andersson, 1990; ver também Driver et al., 1994), temos encontrado que a maior dificuldade não provém de que os alunos tenham interpretações diferentes da natureza dessas mudanças (por exemplo, em termos de transmutações, deslocamentos, etc.), mas de que, mais uma vez, confundem os níveis macroscópico e microscópico, atribuindo às partículas propriedades que, de fato, correspondem ao nível macroscópico ou aparente (Gómez Crespo, Pozo e Sanz, 1995; Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1999). Assim, diante da dilatação de uma barra de ferro, vão assumir que as partículas do ferro aumentam de tamanho, ou diante da evaporação da água dirão que são as partículas que evaporam. Ao não conseguirem diferenciar e integrar adequadamente

te sua percepção macroscópica (a água transforma-se em vapor, ou o volume do ferro aumenta) com os modelos microscópicos propostos (mudanças na mobilidade e distribuição das partículas por efeito da mudança na temperatura), acabam por utilizar suas próprias percepções para dar sentido aos modelos que lhes são apresentados, em vez de fazer o contrário.

A descontinuidade da matéria e a noção de vazio

Outra das noções mais difíceis na aprendizagem da química é a ideia de que a matéria é descontínua, de que entre as partículas que compõem a matéria há um espaço vazio. Essa ideia, “contrária à razão”, como propôs Descartes, vai de encontro à nossa percepção do mundo, em que a matéria se apresenta como algo contínuo. Trata-se, contudo, de uma noção essencial, um dos pilares sobre os quais se sustenta a química moderna. De fato, a ideia do vazio trouxe, também, suas próprias dificuldades na história da química, as quais exigiram uma verdadeira mudança ou revolução conceitual para serem aceitas no *corpus* teórico estabelecido (Carey, 1991; Estany, 1990; Thagard, 1992). De fato, diversos estudos mostraram que os alunos – antes da instrução, mas mesmo depois dela – mantêm uma concepção *contínua* da matéria (Driver et al., 1994), ao ponto de que essa concepção, profundamente enraizada em nossa percepção *macroscópica* do mundo, é uma das mais resistentes à mudança conceitual em química e, também, uma das mais consistentes. De fato, temos comprovado que, em questionários construídos para esse efeito, menos de 20% das respostas, tanto de alunos adolescentes como de indivíduos com forte instrução em química, tendiam, em média, a assumir uma concepção descontínua da matéria e a aceitar

a ideia de vazio (Pozo e Gómez Crespo, 1997a). Portanto, a instrução em química não influencia apenas a aceitação da ideia de vazio frente às fortes concepções alternativas existentes, baseadas no senso comum ou na percepção macroscópica do mundo. Essas concepções são praticamente imunes à instrução científica, tal como é ministrada normalmente, por mais intensa e contínua que seja.

Se a instrução praticamente não afeta as concepções sobre a continuidade ou descontinuidade da matéria, a ativação dessas concepções, em compensação, é muito influenciada pela aparência material das substâncias apresentadas. A ideia de vazio é utilizada com mais frequência para representar a matéria em estado gasoso e, em muito menor medida, para os sólidos. Os líquidos, por sua vez, ficam em um nível de dificuldade intermediário (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993; Stavy, 1995; Pozo e Gómez Crespo, 1997a). Estamos, novamente, diante da indiferenciação entre a percepção macroscópica e a análise microscópica. Quando a matéria adota uma aparência mais compacta, ou mais contínua, como nos sólidos, é difícil aceitar a existência de espaços vazios entre seus componentes. Quando a matéria adota um aspecto mais “difuso” ou menos compacto, como é o caso dos gases, a aceitação da ideia de vazio, mesmo que pouco frequente, é mais provável. No caso dos líquidos, a interpretação é menos clara e, de fato, são eles que mostram uma pauta de dados mais complexa.

Mas vejamos, se os alunos não utilizam o vazio em suas respostas, que categorias interpretativas utilizam? Neste caso, temos encontrado que quando se trata de *sólidos*, nos quais a atribuição de um espaço vazio entre as partículas era especialmente difícil, a concepção alternativa mais comum é a de que existe uma continuidade na matéria e, assim sendo, *não há nada, nem sequer um espa-*

ço vazio, entre as partículas. Essa pauta é muito estável e praticamente não é afetada pela instrução. Praticamente metade dos alunos de diferentes idades mantêm essa concepção, que resulta plenamente coerente com a aparência perceptiva que adotam os sólidos: entidades compactas, densas e contínuas, sem separação entre os elementos de que são compostas. Mais uma vez, vemos que eles concebem as partículas com características *macroscópicas*, sendo incapazes de diferenciar entre a análise microscópica da matéria (as partículas e suas interações) e a percepção macroscópica da aparência que essa mesma matéria adota. No caso dos gases, também encontramos uma pauta muito clara e estável nas concepções alternativas que, apesar de ser diferente da observada nos sólidos, mantém uma tendência comum: a predominância das características perceptíveis na representação da estrutura da matéria, neste caso os gases ou, dito de outro modo, a indiferenciação entre a estrutura microscópica e a aparência macroscópica da matéria. Neste caso, a concepção alternativa predominante em quase todas as idades, inclusive no caso de estudantes universitários de química, é a *presença de ar entre as partículas*. Essa pauta, que, mais uma vez, é muito persistente e estável, apesar da instrução, acomoda-se bastante, também, a essa influência da aparência perceptível da matéria em sua representação microscópica. Por sua vez, a pauta de concepções alternativas para os líquidos é bem menos clara e sistemática, respondendo, talvez, à sua própria ambiguidade ou indefinição fenomenológica. Nenhuma ideia predomina de modo sistemático e estável em todos os grupos, como ocorria com os gases e os sólidos. Não se pode dizer que os alunos tenham uma noção tão definida sobre a estrutura e o funcionamento dos líquidos como têm com respeito aos gases e aos sólidos.

No Quadro 6.8 são apresentadas as ideias fundamentais sobre estas três noções (movimento intrínseco, mecanismo da mudança e descontinuidade da matéria) que tentam explicar a forma como os alunos utilizam o modelo corpuscular. É possível observar um tratamento conceitual diferente para líquidos, sólidos e gases, não apenas no que se refere à descontinuidade da matéria, mas também, como vimos, sobre várias outras noções, o que nos leva à ideia de que existem diversas representações para cada estado da matéria.

A representação dos diferentes estados da matéria

Diferentemente do que ocorre com a teoria cinético-molecular, para a qual os diferentes estados de agregação podem ser explicados como diversos estados de um mesmo modelo, para os alunos, incluídos os estudantes universitários de química, cada estado da matéria é interpretado com um modelo ou teoria diferente. De fato, cada um dos estados da matéria, especialmente os gases e os sólidos, possui uma entidade fenomenológica diferenciada, e apresenta características diferentes à percepção.

Dada a concepção realista a partir da qual os alunos estruturam suas teorias sobre a matéria – poderíamos dizer que os alunos *concebem a matéria tal como a percebem* –, não é estranho que tenham uma representação diferente das matérias sólida, líquida e gasosa. De fato, este dado foi encontrado em numerosas pesquisas (por exemplo, Pozo e Gómez Crespo, 1997a). Não é sem razão que a maioria das revisões sobre as ideias que os alunos mantêm com respeito à química estão organizadas em torno desse critério (Driver et al., 1994; Gabel e Bunce, 1994; Pozo et al., 1991; Stavy, 1995), assumindo que os alunos possuem representações

QUADRO 6.8**A utilização do modelo corpuscular****Movimento intrínseco**

Não se diferenciam entre o movimento das partículas (nível microscópico) e o movimento do material do qual elas fazem parte (nível macroscópico).

sólidos → As partículas de que são constituídos estão sempre em repouso.

líquidos → Suas partículas movimentam-se somente quando há um agente externo para causar o movimento.

gases → Suas partículas movimentam-se sempre.

Mecanismo explicativo

O mecanismo atribuído à mudança depende do número de substâncias que participam no sistema.

duas ou mais substâncias (reações e dissoluções)

→ É aceita a interação entre partículas das duas substâncias. De modo geral, uma delas é o agente que provoca a mudança na outra.

uma substância (mudança de estado e dilatação)

→ As partículas experimentam a mesma mudança que ocorre no nível macroscópico.

Descontinuidade e vazio

Concepção contínua da matéria a partir do seu aspecto físico.

sólidos → Entre as partículas não há nada ou há mais partículas da mesma substância.

líquidos → Surgem diversas ideias em função de seu aspecto ou das ideias sobre a substância concreta (por exemplo, a água).

gases → Entre as partículas há ar.

diferentes para cada um desses estados, apesar de os mais estudados terem sido os gases, por serem histórica e epistemologicamente os mais vinculados ao próprio desenvolvimento da química como ciência.

Contudo, como vimos, mesmo com dificuldade os alunos podem aceitar que “entre as partículas de um gás não há nada” – ainda que com mais frequência acreditem que há outro gás, geralmente ar – ou que essas mesmas partículas estejam em contínuo movimento. Mas será que isso significa que compreenderam a natureza corpuscular da matéria e o sistema de interações entre as partículas que provoca esse movimento contínuo, mesmo que em alguns casos seja imperceptível? Do nosso ponto de vista, isso é bastante duvidoso.

De fato, tendemos a acreditar que para os gases os alunos aplicam um esquema conceitual similar ao que utilizam nos sólidos, baseado em uma concepção realista subjacente: assumir que sua estrutura molecular é isomorfa com sua aparência observável. Isso leva a que eles suponham, de modo majoritário, persistente e consistente, que as partículas dos sólidos não se movimentam e que entre elas não há “nada”, no sentido de que umas estão tão juntas das outras, constituem uma matéria tão compacta e contínua que o vazio é impossível. Essa ideia é reforçada, no final do ensino médio e em níveis posteriores, pela apresentação tradicional que numerosos livros didáticos fazem das propriedades e da estrutura dos sólidos, centrada fundamentalmente no estado

cristalino e destacando as posturas relativas fixas das diferentes partículas (átomos, íons ou moléculas) dentro de uma estrutura rígida, frente à visão baseada em um equilíbrio dinâmico. No caso dos gases, essa mesma tendência leva os alunos a assumirem um movimento contínuo e a existência de espaços ou “buracos” entre as partículas, uma vez que, realmente, é isso que ocorre nas situações cotidianas em que, por exemplo, um perfume espalha-se por um cômodo.

O caso dos líquidos está em uma situação intermediária entre gases e sólidos, em que não parece haver um modelo definido, senão que coexistem diversas representações junto com uma porcentagem muito baixa de aceitação da noção de vazio. Em função do contexto ou da característica do problema, há uma superposição de ideias que vão da continuidade total (não haveria nada entre as partículas ou haveria mais partículas do mesmo líquido) até a presença de outras substâncias entre as partículas que constituem o líquido, em função de sua aparência (por exemplo, impurezas, quando se considera que pode haver uma mistura de substâncias), passando pela atribuição da presença de ar (especialmente no caso da água, porque, se não houvesse, os peixes não poderiam “respirar”).

Resumindo o que foi exposto nas seções anteriores, em geral os alunos interpretam a matéria de maneira contínua e estática frente à visão dinâmica dos modelos científicos. Utilizam muito pouco, de modo espontâneo, o modelo corpuscular em suas interpretações, ainda que o aceitem facilmente e incorporem as “partículas” às suas explicações quando são induzidos a isso, atribuindo às partículas, contudo, as mesmas propriedades que a matéria apresenta em nível macroscópico. Para eles, as partículas representariam pequenos “pedaços” de matéria separados

por mais matéria, o que os leva a afastar, ou no mínimo a ignorar, a ideia de vazio. Assim, o aumento das interpretações microscópicas geralmente vem junto com um aumento das interpretações errôneas. Muitos desses erros seriam consequência de uma aparente confusão ou indiferenciação entre dois possíveis níveis de análise: o das propriedades do mundo “físico” observável e o das partículas microscópicas, que, de maneira não observável, compõem a matéria. Essa confusão – muito comum, segundo numerosas pesquisas (por exemplo, Driver, 1985; Hesse e Andersson, 1992; Llorens, 1991; para uma revisão, veja Pozo et al., 1991) – parece dever-se a que os alunos assimilam os modelos corpusculares que lhes são ensinados às suas teorias implícitas sobre como está formada a matéria, atribuindo às partículas boa parte das características do mundo que observam. Essa atribuição, errônea do ponto de vista da ciência, é, contudo, muito comum no conhecimento causal cotidiano, em que há uma predominância do que é observável sobre o que não é observável. Dizendo isso em poucas palavras, os alunos concebem a matéria tal como a percebem. Essa dependência dos sentidos, que vai decrescendo a partir dos primeiros momentos do desenvolvimento cognitivo, à medida que as crianças vão formando estruturas conceituais para superar as aparências perceptivas, ainda é suficientemente forte para dificultar a compreensão de um mundo composto por unidades invisíveis e discretas, em clara oposição à realidade percebida.

A conservação das propriedades não observáveis da matéria

Como já foi assinalado, uma parte importante dos conteúdos de química nos ensinos fundamental e médio está relacio-

nada com o estudo das transformações da matéria. Para poder compreender os diferentes fenômenos da natureza, as mudanças e transformações que a matéria experimenta, os estudantes devem assumir a existência de certas entidades conceituais (energia, massa, matéria, etc.) que frequentemente permanecem estáveis ao longo de um processo, apesar das mudanças aparentes que ocorrem na matéria (combustão, ebulição, dissolução, etc.). Se essas conservações não são assumidas, é bastante difícil que os alunos cheguem a alcançar uma visão da natureza como um sistema em equilíbrio e, portanto, mais tarde terão muitas dificuldades para compreender o equilíbrio químico. A aprendizagem da ciência deveria, em grande medida, estar relacionada com a aquisição das conservações (Mariani e Ogborn, 1990). Contudo, compreender a conservação das propriedades da matéria quando ela sofre

uma mudança não é fácil para os estudantes. Nos Quadros 6.9 e 6.10 são mostradas algumas das ideias e das dificuldades nas interpretações sobre conservação e equilíbrio químico dos estudantes dos ensinos fundamental e médio.

A aquisição das conservações começa muitos anos antes de os estudantes iniciarem seus estudos de ciências. Como mostra claramente a teoria do desenvolvimento cognitivo de Piaget, desde muito cedo na infância é necessário construir invariantes conceituais que permitam interagir com a realidade – por exemplo, os bebês devem construir a “permanência do objeto”, ou seja, assumir que os objetos continuam existindo e mantêm propriedades invariantes mesmo quando deixam de ser, momentaneamente, perceptíveis. Com o desenvolvimento cognitivo as crianças são capazes de ir além das aparências imediatas, construindo noções quantitativas

QUADRO 6.9

Algumas ideias dos alunos sobre a conservação da matéria

1. Entendem a conservação da massa e da substância como problemas independentes.
2. A conservação ou não da matéria depende das características observáveis do sistema.
3. Explicam o que muda no sistema, não o que permanece.
4. Não diferenciam entre mudança física e mudança química.
5. Aparecem interpretações das mudanças em termos de transmutação e conservação da substância com perda de massa.

Gómez Crespo, 1996

QUADRO 6.10

Algumas dificuldades para a compreensão do equilíbrio químico

- Dificuldades para interpretar o sentido da flecha dupla.
- Erros na interpretação das velocidades das reações direta e inversa.
- Compartimentação do equilíbrio.
- Dificuldades para interpretar as mudanças em um sistema em equilíbrio.

Gómez Crespo, 1993

de conservação. Mas, em todos os casos, essas conservações piagetianas clássicas das propriedades quantitativas da matéria (massa, peso e volume) estão baseadas nos dados percebidos. Diante disso, o estudo da química requer compreender a conservação para além das aparências e do que é observável. Porém, essas conservações somente adquirem sentido como relações entre conceitos dentro de um modelo e requerem a utilização dos esquemas de interação e equilíbrio, tal como foi mostrado no Quadro 6.4. Para poder explicar como queima uma tábua de madeira, ou por que um torrão de açúcar dissolve, os estudantes devem assumir a existência de certas propriedades que permanecem apesar da mudança observada. De fato, essas conservações não observáveis desempenham um papel essencial no pensamento científico, marcando a diferença entre essa forma de pensamento e o conhecimento cotidiano dos alunos sobre a ciência, baseado nas mudanças e transformações observáveis mais do que na conservação de propriedades não observáveis (Pozo et al., 1991).

Assim, aprender química exige reconhecer a existência de propriedades não observáveis da matéria, que se conservam apesar das mudanças sofridas. É necessário compreender a conservação das quantidades, tais como massa ou peso. Essas conservações quantitativas são muito importantes, uma vez que, se não forem compreendidas, carecem de significado as unidades e os sistemas utilizados para

medi-las, assunto que ocupa boa parte do currículo de ciências e, mais especificamente, de física e química. Contudo, mesmo sendo importantes, estas conservações quantitativas devem ser acompanhadas por uma conservação da *qualidade* da matéria, ou da substância, após uma mudança, dado que isso é o que permite diferenciar uma mudança física de uma mudança química.¹

Quando a matéria sofre uma mudança física (por exemplo, uma mudança de estado), a substância ou substâncias envolvidas não mudam sua estrutura microscópica e, por isso, conservam sua identidade. A estrutura molecular da água permanece inalterada quando ela se transforma em gelo. Além disso, as mudanças físicas são reversíveis (o gelo pode voltar a se transformar em água) e, dado que as substâncias se conservam, é possível recuperar as substâncias originais. Em todos os casos, a massa da substância que sofre a mudança continua sendo a mesma. Por outro lado, nas mudanças químicas (reações químicas) a identidade das substâncias envolvidas é modificada pela interação entre as moléculas das substâncias iniciais (por exemplo, a madeira e o oxigênio em uma reação de combustão) para dar lugar a novas substâncias (dióxido de carbono e vapor de água). Por isso, depois de uma reação química as substâncias iniciais não se conservam, ocorre uma reorganização na estrutura microscópica da matéria. As reações químicas, mesmo quando as substâncias originais podem ser recuperadas ou restabelecidas por meio de procedimentos químicos, não são reversíveis, pelo menos cognitivamente, se aceitamos que a reversibilidade, no sentido piagetiano, implica dispor de operações intelectuais que possam reverter ou inverter o efeito da operação anterior para alcançar novamente o estado inicial. Contudo, ainda que as substâncias originais (reagentes) e as finais (produtos) não

¹ Em um sentido estrito, tanto as mudanças físicas quanto as químicas implicam o rompimento de ligações, a única diferença entre um e outro está na magnitude da energia envolvida nisso. Contudo, as energias de ligação ou a diferenciação entre ligações intra e intermoleculares são introduzidas apenas no final do ensino médio, o que faz com que a diferenciação entre ambos os tipos de mudança, física e química, em termos de conservação da substância seja uma aproximação válida durante os ensinamentos fundamental e médio.

sejam as mesmas em uma reação química, não havendo, portanto, conservação da substância, a soma das massas das substâncias iniciais é sempre igual à soma das massas finais, razão pela qual, pelo menos em um sistema fechado, haveria uma conservação da quantidade de matéria.

Posteriormente, no final do ensino médio (entre os 16 e os 18 anos), os alunos devem aprender a interpretar as mudanças da matéria em termos de equilíbrio (térmico, químico, etc.). Devem compreender que as interações entre sistemas ou entre partes de um mesmo sistema levam a intercâmbios de matéria e energia, havendo, portanto, mudanças nas quantidades (massa, concentração, etc.) das substâncias envolvidas, sem que por isso sofram alteração determinadas propriedades (por exemplo, a massa ou a energia totais). Da mesma maneira, devem aprender que toda interação entre dois sistemas conserva mudanças em ambos, que quando um deles ganha (matéria ou energia) é às custas do que o outro cede. Por exemplo, os alunos devem aprender

como, em uma reação de combustão, as mudanças (aumento de temperatura) que ocorrem no entorno do sistema provêm de o sistema ceder energia, e como essa energia provém da diferença entre o conteúdo energético de reagentes e produtos, devido ao rompimento de ligações entre átomos e à formação de átomos novos.

Frente a isto, as teorias dos alunos são construídas inicialmente sobre a ideia de mudança sem conservação (ver Quadro 6.11). Os estudantes com menos idade, a partir da concepção de que *a realidade é tal como a vemos*, descrevem as mudanças da matéria a partir de sua percepção dessa mudança. Assim, alguns observam que, quando o álcool evapora, aparentemente desaparece e, literalmente, interpretam que não existe mais. Outros aceitam que resta alguma coisa desse álcool (percebem o cheiro), mas a passagem de uma realidade tangível (o álcool é um líquido) para uma realidade *mais etérea* (o vapor de álcool que cheiram, mas que não é possível ver nem, aparentemente, atuar sobre ele) força-os a aceitar sua presença, mas

QUADRO 6.11

As teorias sobre a conservação da matéria

Mudança sem conservação	<ul style="list-style-type: none"> - A realidade é tal como nós a vemos. - Há necessidade de explicar o que muda, não os estados. - Só muda aquilo que vemos que se altera, e somente se conserva o que vemos que se conserva.
↓	
Mudança com conservação	<ul style="list-style-type: none"> - Aceita-se a conservação de propriedades não observáveis após uma mudança. - São mudanças sem necessidade de interação, unidirecionais e causadas por um agente.
↓	
Conservação e equilíbrio	<ul style="list-style-type: none"> - São mudanças interpretadas em termos de interação entre sistemas que levam à conservação e ao equilíbrio.

interpretam que pelo menos perdeu parte de sua massa. Em outros casos, é possível interpretar que uma substância pode mudar sem necessidade de interação com outras, o que implica uma transmutação. Como diversos autores destacaram (Driver et al., 1985; Pozo et al., 1991), os alunos tendem a *explicar as mudanças, não os estados*. Assim, buscam explicações para as mudanças aparentes da matéria, mas não para os estados, para o que permanece após a mudança. Portanto, se o aluno prestar atenção exclusivamente no que se transforma, dificilmente poderá compreender o que se conserva. Isso dificulta a compreensão das diferentes mudanças que a matéria experimenta em maior ou menor grau em função das características dessa mudança. Da mesma maneira, prestam mais atenção ao estado final de uma transformação do que ao seu estado inicial, o que trará dificuldades para que eles compreendam as conservações não observáveis.

Um estágio intermediário na evolução das teorias dos alunos para chegar à teoria científica é a aceitação da conservação nas mudanças da matéria. Contudo, aceitar que existe conservação de propriedades mesmo que não sejam perceptíveis não significa compreender a mudança em termos de conservação e equilíbrio. Assim, como vamos expor mais adiante, para os alunos é mais fácil aceitar a conservação da massa do que a conservação da substância. Podem compreender que depois de uma reação química (por exemplo, uma precipitação), a massa do sistema continua sendo a mesma, mas para eles é difícil compreender a mudança em termos de interação entre substâncias, que muitos continuarão vendo como uma mudança na qual uma substância determinada varia seu aspecto ou suas propriedades externas. Outro exemplo disso poderia ser a *visão aditiva* das reações químicas. Muitos alunos concebem uma reação química

como um processo no qual algumas substâncias são adicionadas a outras para obter um produto que é a soma das anteriores (por exemplo, na reação de N_2 com O_2 , admitem que se forme N_2O_2 ou N_2O_4 , mas nunca N_2O_3), o que só seria correto em casos muito concretos e especiais. Para eles, após a mudança é fácil ver que há conservação (de massa, de átomos, etc.), mas interpretar essa mudança como um processo de interação mais complexo, em que a conservação vem de um processo de intercâmbio, no qual uns ganham e outros perdem, já não é tão fácil, e isso dificulta a compreensão de noções mais complexas, como o equilíbrio. Assim, é fácil ver que os alunos que começam a estudar o equilíbrio químico (no final do ensino médio, aos 17-18 anos) mantêm concepções segundo as quais interpretam que as mudanças em um sistema afetam apenas um dos processos que dele participam, ou seja, consideram que o sistema evolui como se existissem compartimentos isolados para reagentes e produtos.

Essas formas de interpretar as mudanças da matéria, aceitando a conservação, mas sem compreender os estados de equilíbrio, também estariam por trás de algumas das dificuldades para compreender e utilizar as teorias ácido-base. Assim, alguns autores assinalam a grande persistência do uso da teoria de Arrhenius frente à teoria de Brønsted-Lowry quando se trabalha com bases, inclusive no caso de alunos universitários (por exemplo, Cros, Chastrette e Fayol, 1988; Bardanca, Nieto e Rodríguez, 1993). No primeiro caso, o da teoria de Arrhenius, para o aluno é suficiente interpretar o processo em termos de causalidade simples e unidirecional (sempre é cedida uma espécie química, H^+ ou OH^- , dependendo do caso). Mas compreender a teoria de Brønsted-Lowry implica considerar processos simultâneos que competem entre si e levam a um equilíbrio: agora é uma única espécie (H^+) a

que se ganha e se perde ao mesmo tempo. Um raciocínio similar poderia ser feito para a teoria de Lewis, que para os alunos é ainda mais difícil de compreender.

Os estudantes do início do ensino médio estariam em uma situação intermediária, mais próxima da fase de mudança com conservação, mas sem equilíbrio. Apesar de alguns deles ainda terem dificuldades para compreender a conservação da quantidade de matéria, a massa – em algumas mudanças concretas, dependendo da apresentação da tarefa e do contexto –, suas maiores dificuldades estariam em compreender o tipo de interações envolvidas na transformação, o que se traduziria em uma dificuldade maior para compreender a conservação ou não da qualidade da matéria, a substância.

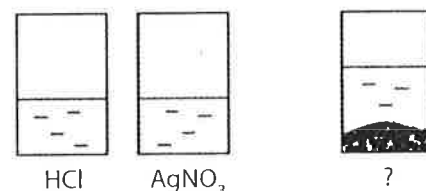
Dificuldades específicas para compreender a conservação da matéria

Conforme já assinalamos, massa e substância são duas propriedades que, do ponto de vista da química, estão diretamente relacionadas e dependem das mudanças na estrutura microscópica da matéria. Contudo, para muitos alunos do ensino médio, são dois problemas diferentes que guardam pouca relação entre si, que são abordados de maneira diferente e que, portanto, apresentam diversos graus de dificuldade em função do conteúdo estudado e do contexto em que são apresentados (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993). Assim, por exemplo, nas soluções é mais difícil compreender a conserva-

QUESTÃO 1 (Reação química em contexto químico)

Temos dois copos, A e B, que contêm ácido clorídrico (HCl) e nitrato de prata (AgNO_3), ambas as substâncias são líquidos transparentes.

Ao derramar A sobre B e agitar, ocorre uma reação química. No fundo do copo aparece uma substância sólida de cor branca. O que você acha que ocorreu?

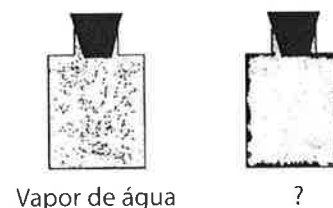


- Uma das duas substâncias mudou e transformou-se no sólido branco.
- O sólido branco continua sendo as substâncias A e B concentradas no fundo do copo, apenas mudaram de aspecto.
- Houve uma interação entre as substâncias A e B para formar uma substância diferente, o sólido branco.
- O sólido branco continua sendo as substâncias A e B concentradas no fundo do copo, mas a quantidade é diferente.
- A e B não estão mais no copo. O sólido branco é algo que estava misturado com elas ou que já estava no copo inicialmente.

QUESTÃO 2 (Mudança de estado em contexto de vida cotidiana)

Na figura temos um frasco de vidro que contém vapor de água.

Introduzimos o frasco no congelador da geladeira para que esfrie. Retiramos o frasco após um tempo e observamos que agora há um sólido (gelo) depositado nas paredes e no fundo. O que você acha que ocorreu com o vapor?



- O vapor e o gelo são a mesma substância, mas agora temos uma quantidade diferente.
- O vapor transformou-se em uma nova substância totalmente diferente, o gelo.
- O vapor desapareceu, o gelo já estava dentro do frasco.
- O vapor e o gelo são a mesma substância, houve apenas uma mudança de aspecto.
- Houve uma interação entre o vapor e o ar para formar uma substância diferente, o gelo.

Figura 6.1

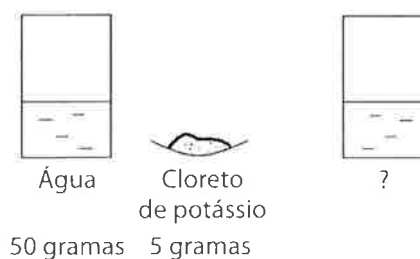
Exemplos de questões sobre conservação da substância.
Pozo e colaboradores, 1993

QUESTÃO 1 (solução em contexto químico)

O desenho mostra um copo que contém exatamente 50 gramas de água e uma substância química de cor branca (cloreto de potássio, KCl), cuja massa é exatamente 5 gramas. Se jogamos o cloreto de potássio na água e mexemos até que dissolva totalmente, obtemos uma dissolução transparente.

Qual você acha que será, agora, o peso do conteúdo do copo?

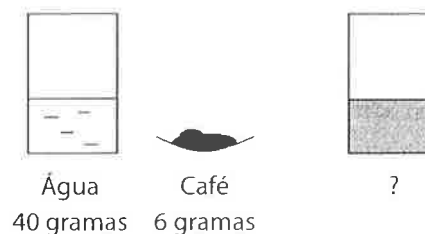
- A. 50 gramas.
- B. Um valor compreendido entre 50 e 55 gramas.
- C. 55 gramas.
- D. Mais de 55 gramas.

**QUESTÃO 2** (solução em contexto de vida cotidiana)

O desenho mostra um copo que contém 40 gramas de água e 6 gramas de café solúvel.

Se colocamos o café na água e mexemos até que dissolva totalmente, obtemos uma solução de cor escura. Quanto você acha que vai pesar agora o conteúdo do copo?

- A. 40 gramas.
- B. Um valor compreendido entre 40 e 46 gramas.
- C. 46 gramas.
- D. Mais de 46 gramas.

**Figura 6.2**

Exemplos de questões sobre conservação da massa.
Pozo e colaboradores, 1993

ção da substância quando o problema é apresentado em um contexto químico do que em um contexto cotidiano. Já as mudanças de estado são mais fáceis em tarefas sobre conservação da substância do que em tarefas sobre conservação da massa, enquanto no caso das reações não é observada diferença alguma como consequência do contexto. Alguns exemplos de questões com diferente conteúdo e contexto podem ser vistos nas Figuras 6.1 e 6.2.

Em geral, nos alunos dos ensinos fundamental e médio (12 a 18 anos), observa-se que as interpretações sobre conservação da substância são mais afetadas pelo conteúdo (por exemplo, mudanças de estado, dissoluções e reações) do que aquelas que são feitas sobre conservação da massa. O fato de aparecerem menos diferenças entre conteúdos no caso da conservação da massa pode fazer sentido se levarmos em consideração que esse efeito

ocorre fundamentalmente entre alunos que tenham frequentado, ou que estejam frequentando, cursos elementares de química ou que já possuam algumas noções desta disciplina e se lembrarmos que uma tendência bastante generalizada entre os professores é centrar esses cursos na realização de exercícios numéricos, baseados na quantificação. Ao contrário, quando se analisa a compreensão da conservação da substância, menos próxima do contexto escolar, os indivíduos precisam recorrer com mais frequência às suas ideias pessoais sobre o fenômeno estudado, o que faz com que apareçam diferentes interpretações em função da mudança da matéria estudada. Dado que, como já assinalamos, conservação da massa e conservação da substância apresentam problemas diferentes para os alunos, vamos analisar em separado essas duas conservações necessárias para interpretar as mudanças da matéria.

Conservação da massa

Para o aluno, a conservação da matéria é afetada fundamentalmente pela percepção que ele tem do problema. Assim, por exemplo, interpreta que depois de dissolver açúcar em água pode haver perda de massa; a transformação de um líquido em gás implica que a substância se torne mais leve ou, inclusive, que desapareça; na combustão de um cigarro, o desaparecimento de um sólido para formar um gás implica que haja perda de massa; na oxidação de uma esponja de aço, o óxido continua sendo aço, que apenas muda de aspecto, etc. (mais exemplos podem ser encontrados em Driver et al., 1985; Llorens, 1991). Em todos os casos, os alunos baseiam suas respostas nos aspectos observáveis dos estados inicial e final da matéria, centrando-se em explicar aquilo que mudou e não o que permanece (Pozo et al., 1991). Assim, para muitos deles uma propriedade da matéria é que os líquidos são mais leves do que os sólidos e os gases mais leves do que os líquidos. Esta dependência dos aspectos perceptivos faz com que seja mais fácil aceitar a conservação da massa quando depois da mudança se percebe algum indício da substância original (por exemplo: uma solução colorida, como o café, ou uma mudança de estado que dá lugar a um gás colorido, como a sublimação do iodo).

Mas, embora aquilo que vê e a forma como ele vê seja um fator importante na interpretação do aluno, temos encontrado que existem outras variáveis que influenciam nas interpretações que eles fazem do problema (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993). O contexto em que a tarefa é apresentada (química ou vida cotidiana) tem pouca influência no rendimento dos alunos quando estão sendo estudadas as mudanças de estado ou as reações químicas. Contudo, quando o que está sendo estudado é a conservação da massa depois de

uma dissolução, eles acham o problema mais fácil se a tarefa for apresentada em termos químicos (um exemplo desse tipo de tarefa pode ser visto na Figura 6.2). Nesse contexto, as soluções não apenas são mais fáceis do que em situações cotidianas, mas inclusive são mais simples do que outros conteúdos (mudanças de estado e reações). Como veremos mais adiante, este dado contrasta de maneira notável com os resultados obtidos quando se trata da conservação qualitativa da matéria (Gómez Crespo, Pozo e Sanz, 1995). Este efeito possivelmente esteja relacionado com o fato de que, no contexto escolar, as soluções são um conteúdo que é apresentado, geralmente e quase de modo exclusivo, em forma quantitativa. Seu estudo, na maioria dos livros – e, portanto, na maioria das aulas –, é focado em seus aspectos quantitativos, como a concentração, a massa de soluto necessária para preparar uma determinada solução, a quantidade de soluto que aparece em uma amostra determinada, etc.

Do ponto de vista do conteúdo envolvido na tarefa, temos encontrado que a conservação da massa é compreendida mais facilmente e a uma idade mais precoce nas tarefas de soluções e que é mais difícil compreender as tarefas de mudanças de estado. As reações mostram um nível intermediário de dificuldade (a Figura 6.3 apresenta um gráfico com esses resultados). Junto com a especificidade das tarefas educacionais, da qual acabamos de falar, esses resultados possivelmente também refletem, como já assinalávamos anteriormente, a influência da percepção e das ideias e concepções sobre os diferentes estados da matéria na interpretação que os estudantes fazem do problema. De fato, o conteúdo mais difícil para eles são as mudanças de estado. Se a matéria sofre uma mudança de estado, a substância envolvida experimenta uma mudança drástica de aparência observá-

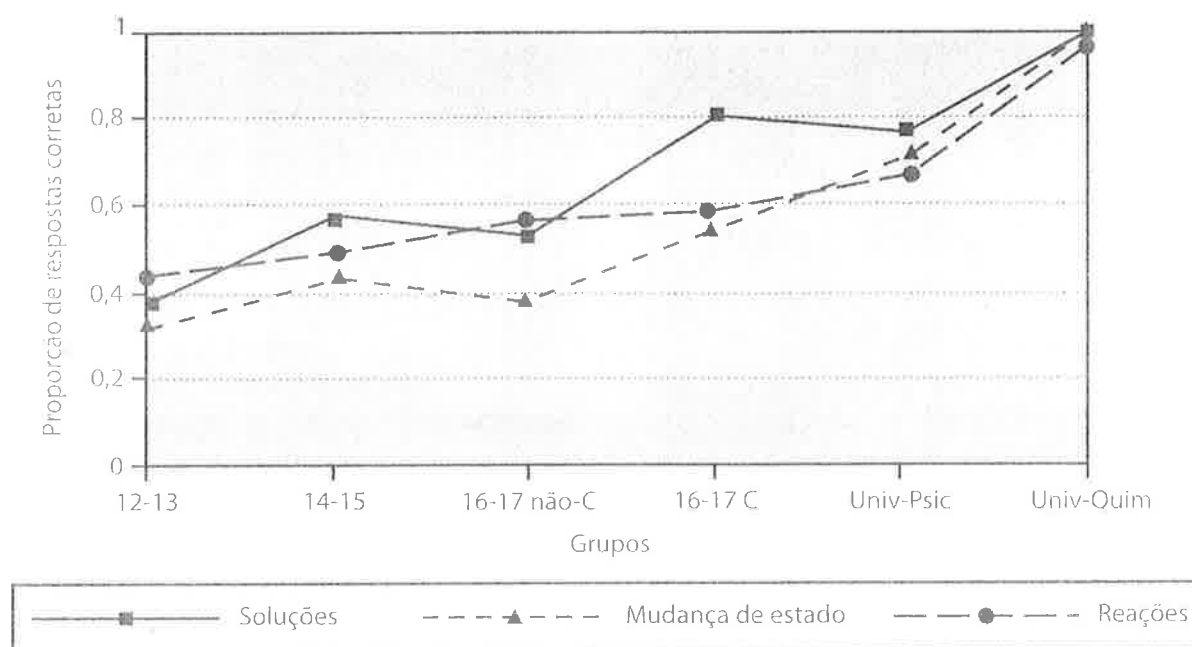


Figura 6.3

Proporção de respostas corretas obtidas em um questionário sobre conservação da massa (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993). No eixo horizontal estão representadas as idades dos grupos com os quais foi realizado o estudo. Os grupos 16-17 C e não-C representam alunos que cursam estudos científicos e alunos que não cursam, respectivamente. Os grupos Univ-Psic e Univ-Quim são grupos formados por alunos que cursavam o último ano de psicologia e de química, respectivamente.

vel, o que leva os alunos, quando lhes são pedidas previsões sobre a massa final da substância, a utilizarem em suas respostas categorias em que há um aumento ou redução de massa em função da mudança de aparência sugerida no problema. Assim, quando um líquido evapora eles tenderiam a atribuir uma perda de massa ao sistema, que em alguns casos pode chegar a ser total (“o álcool desaparece, não resta nada”). Parece que os alunos associam as mudanças de estado a mudanças na quantidade de matéria. Contudo, quando se trata de uma dissolução, há maior tendência a aceitar a conservação, porque o estado observável da matéria não costuma mudar. Apesar disso, as mudanças de estado, e em grande medida também as reações, geralmente implicam modificações observáveis, que os alunos associariam a mudanças quantitativas da matéria, especialmente quando o estado final é gasoso.

Assim, quando são analisadas as respostas alternativas à conservação, com exceção dos estudantes de menos idade (alunos abaixo dos 14 anos em média), entre os quais também aparecem respostas de *perda total* ou mesmo de *aumento da massa*, a maior parte das respostas erradas correspondem a uma *diminuição parcial da massa*. Essa tendência a considerar que após as mudanças ocorre uma certa perda de matéria, apesar de afastar-se do conhecimento científico aceito, é consistente com a fenomenologia do conhecimento cotidiano, preocupada pelo gasto, consumo ou perda de energia, calor, etc. Sabemos que quando acendemos a calefação ou o ar-condicionado, devemos fechar a janela para que não “escape” o calor ou o frio. Em condições normais, ou cotidianas, dizemos que “se perde” energia, velocidade ou calor. Como já assinalamos em alguma outra ocasião, e estes resultados confirmam parcialmente, nosso conhe-

cimento pessoal ou cotidiano – e o dos alunos também – está centrado mais no que muda do que no que se conserva ou permanece, uma vez que geralmente nos deparamos com sistemas restritos e abertos, de modo que não somos conscientes de certas conservações no marco de sistemas de equilíbrio complexos, tal como mostrado nos Quadros 4.7 e 6.4.

Nesta seção analisamos as dificuldades para compreender que a quantidade de matéria se conserva depois de ocorrer uma mudança física ou química. Contudo, o que acontece com a qualidade das substâncias envolvidas?

Conservação da substância

Para estudar as mudanças da matéria não basta que nossos alunos compreendam a conservação da massa; também é necessário que compreendam a conservação, ou não, da substância depois de uma transformação. Porém, essa compreensão qualitativa das transformações da matéria, a permanência ou não da substância inicial após a mudança, apresenta, também, muitas dificuldades (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993; Gómez Crespo, Pozo e Sanz, 1995). Por exemplo, apesar de serem capazes de distinguir muito bem que após uma mudança de estado a substância envolvida mantém sua identidade e, portanto, continua sendo a mesma, ainda que seu aspecto tenha mudado, não ocorre o mesmo no caso de uma substância que se dissolve na água. Nesse caso, muitos alunos tendem a interpretar que a substância que se dissolve não só muda de aspecto, mas que também pode mudar de identidade.

Os resultados das pesquisas sobre a conservação da substância mostraram a influência de diversas variáveis na maior ou menor dificuldade que os alunos encontram na resolução de tarefas relativas a diferentes mudanças da matéria. Assim,

encontramos diferentes resultados em função do conteúdo envolvido: soluções, mudanças de estado ou reações. A conservação qualitativa da matéria, ou conservação da substância, é entendida com mais facilidade, e em uma idade mais precoce, quando ocorre uma mudança de estado, mas é mais difícil quando o processo é uma reação química. As soluções estariam em um ponto intermediário. Esses resultados mostram que as mudanças físicas não só estão mais próximas da vida cotidiana – nosso mundo cotidiano é mais frequentemente representado com uma linguagem física –, mas que também são mais fáceis de compreender. No entanto, também mostram que compreender as mudanças é mais fácil quando elas envolvem apenas uma substância (mudança de estado) e não duas ou mais substâncias diferentes (soluções e reações). Como se poderia prever a partir de pesquisas anteriores (por exemplo, Andersson, 1986; 1990), a natureza interativa das reações faz com que esse conteúdo seja o mais difícil, uma vez que exige dos estudantes a utilização de conceitos de interação que são opostos ao raciocínio causal linear que utilizam normalmente.

Se queremos aprofundar na forma como nossos alunos interpretam as mudanças da matéria e, portanto, como constroem suas ideias sobre conservação, é necessário conhecê-las e interpretá-las. Mas essas ideias podem chegar a ser muito variadas. Podem ser encontradas interpretações que vão desde o desaparecimento até a conservação da substância, como já mostraram os primeiros estudos realizados por Piaget e Inhelder (1941) quando pediam a crianças entre 4-12 anos que explicassem o que ocorre quando se dissolve açúcar em água. Sem esquecer outro tipo de concepções (entre as quais estariam incluídas as interpretações em termos de transmutação das substâncias sem necessidade de interação com outras,

por exemplo), Andersson (1986) descreve respostas do tipo: “*ao queimar, a esponja de aço transforma-se em carvão*”; ou “*os gases do escapamento do carro não pesam, porque a gasolina transformá-se em energia*”. Para ajudar a compreender o que está por trás dessas ideias, foram feitas algumas tentativas de classificação em diversas categorias interpretativas, por exemplo as de Driver (1985) ou Meheut e colaboradores (1985) em relação à combustão e à oxidação. Para as mudanças de estado, Andersson (1990) propôs cinco categorias (desaparecimento, deslocamento, modificação, transmutação e interação) que incluem as concepções alternativas mais frequentes. Essas categorias, baseadas em estudos anteriores (Andersson, 1986) sobre a compreensão das reações químicas, são um instrumento bastante útil para reinterpretar os dados compilados sobre como os estudantes concebem

as mudanças entre os diferentes estados da matéria (por exemplo, Seré, 1985; Stavy, 1988). Mas as interpretações que os alunos fazem das diferentes mudanças da matéria, descontadas algumas diferenças específicas devido ao seu conteúdo químico (mudanças de estado, soluções, reações), têm uma origem comum na forma como o aluno constrói seu conhecimento a partir de outros conhecimentos prévios e de suas observações das mudanças da natureza e das características próprias de seu pensamento causal. Por isso, a partir das categorias de Andersson, propusemos outras cinco categorias interpretativas que ajudam a enquadrar e interpretar as concepções dos alunos sobre a conservação das substâncias envolvidas nas diferentes mudanças da matéria (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993; Gómez Crespo, Pozo e Sanz, 1995). Estas cinco categorias são mostradas no Quadro 6.12.

QUADRO 6.12

Cinco categorias para analisar as ideias sobre conservação da substância

As cinco categorias de resposta utilizadas para analisar as concepções dos alunos sobre conservação da substância, especificadas a partir das descritas por Andersson (1986; 1990), são as seguintes:

- Interação (I) – As substâncias interagem para formar uma nova (resposta correta para as questões de transformação química).
- Deslocamento (D) – As substâncias aparecem ou desaparecem depois da mudança.
- Transmutação (T) – Uma substância transforma-se em outra sem necessidade de interação.
- Modificação com identidade (MI) – A substância modifica sua aparência, mas continua sendo a mesma (resposta correta para os itens de mudança física).
- Modificação da quantidade (MQ) – A substância continua sendo a mesma, mas varia sua quantidade.

Um exemplo de como são utilizadas na elaboração de diferentes questões é o seguinte, aplicado a uma reação química em um contexto da vida cotidiana:

Temos um prego de ferro que deixamos ao ar livre, sem nenhum tipo de proteção. Depois de um certo tempo, observamos que ele oxidou e aparece coberto com uma camada vermelho escuro, com aspecto de pó. O que você acha que aconteceu com o ferro do prego?

1. A substância continua sendo ferro. O pó vermelho é algo que havia dentro do prego e que saiu para fora. (D)
2. A substância continua sendo ferro, que mudou de cor. (MI)
3. O ferro transformou-se em uma substância nova e diferente, de cor vermelha. (T)
4. Houve uma interação entre o ferro e o ar para formar uma substância diferente. (I)
5. A substância continua sendo ferro, mas agora há uma quantidade diferente. (MQ)

Assim, por exemplo, encontramos que muitas vezes os alunos do ensino médio não diferenciam entre o tipo de mudança que ocorre em uma solução e em uma reação química, aparecendo para esses dois tipos de processos, indistintamente, interpretações em termos de *interação entre substâncias para obter outra diferente, ou de conservação da substância, mesmo que mude seu aspecto*. Por exemplo, interpretam que quando se dissolve cloreto de sódio em água ambas as substâncias interagem e é formado um novo composto; no outro extremo, podem interpretar a combustão do álcool como uma mudança na qual esse composto apenas evaporou. Tudo indica que os alunos não estabelecem diferenças entre o tipo de mudança ocorrido. Além disso, mostram uma pauta de aquisição diferente em função do contexto em que a tarefa é apresentada (formulada em termos químicos ou em termos mais cotidianos). As dissoluções tendem a ser interpretadas mais como mudanças físicas se forem apresentadas em um contexto cotidiano (por exemplo, dissolução de açúcar em água) e, contudo, em contextos químicos (por exemplo, dissolução de cloreto de sódio em água), os alunos tendem a representá-las mais como se fossem reações químicas, em termos de interação entre substâncias para produzir outras diferentes. Em geral, quando o problema “parece” química (linguagem, participação de duas substâncias ou mais, etc.) os alunos tendem a interpretar as mudanças preferencialmente em termos de interação entre substâncias para formar outras novas. Para muitos, a química seria a arte de misturar substâncias para obter outras diferentes.

A utilização da *interação* entre partículas para explicar as mudanças da matéria é maior do que o esperado a partir dos trabalhos de Andersson (1986, 1990). Assim, apesar de os alunos mais jovens (12-14 anos) praticamente não interpre-

tarem nenhuma situação como interação, os mais velhos exageram ao interpretar as mudanças da matéria como interações. Tendem a utilizar a interação para compreender aquelas mudanças que envolvem mais de uma substância. Assim, apesar de as respostas de interação serem utilizadas em maior proporção nos problemas que se referem a reações, também são usadas erroneamente nas tarefas de soluções. Além disso, encontramos que nem todas as categorias de resposta são utilizadas na mesma proporção. Embora as categorias mais utilizadas, independentemente da mudança de estado da matéria estudada, serem *interação e modificação com identidade*, entre os alunos dos ensinos fundamental e médio (12-16 anos), fundamentalmente nos primeiros anos, também há incidência, ainda que em menor proporção, de algumas das representações alternativas ou não científicas que são descritas na literatura (por exemplo, Andersson, 1990; Driver, 1985; Stavy, 1990) que correspondem às categorias deslocamento e transmutação.

Por sua vez, o fato de os alunos mais velhos utilizarem quase exclusivamente – ainda que, às vezes, de modo incorreto – as categorias de interação e modificação com identidade (que correspondem às interpretações admitidas para a transformação química e a transformação física) mostraria que as concepções sobre a conservação da matéria, uma vez superada certa idade ou nível de instrução, não estão tão afastadas do conhecimento científico como alguns estudos levaram a crer. Embora, obviamente, a compreensão mostrada pelos alunos, sobretudo os mais novos, seja deficiente, não parece que suas concepções sejam incompatíveis com o conhecimento científico. Apesar de ser possível identificar certas ideias persistentes, como consequência de diversos vieses cognitivos e influências educacionais, pelo menos no âmbito das conservações parece

que a compreensão da química, em um nível elementar, alheio ao do especialista, é mais uma questão de grau que de mudanças radicais ou revoluções conceituais profundas, confirmando a ideia de que isso só ocorre ocasionalmente, naquelas áreas ou conceitos fundamentais em que o conhecimento pessoal dos alunos é incompatível com a estrutura conceitual do saber científico que se pretende ensinar (Chi, Slotta e Leeuw, 1994; Thagard, 1992).

AS RELAÇÕES QUANTITATIVAS NA QUÍMICA

O estudo das relações quantitativas constitui uma parte importante dos conteúdos da química no ensino médio. Essa quantificação diz respeito à representação das leis físico-químicas e sua aplicação prática, o que provavelmente representa outra das principais dificuldades de aprendizagem para os estudantes.

Na história da química, as primeiras medidas realizadas foram de massa e de volume e, com elas, foram estabelecidas as primeiras leis que permitiram o desenvolvimento teórico dessa ciência. Com a introdução da teoria atômico-molecular, os fenômenos químicos começaram a ser interpretados em nível microscópico, em função dos átomos e das moléculas que neles intervêm, sendo necessário conhecer o número de partículas que participam em um determinado processo. O químico precisa, por conseguinte, relacionar de modo quantitativo as dimensões macroscópicas do mundo real e o nível microscópico no qual interpreta os processos e estabelece as teorias sobre a matéria. Por exemplo, precisa relacionar a massa e o número de moléculas de uma substância que participa em uma reação, as massas dos elementos que formam um composto e sua fórmula química, o número de elétrons que são trocados em um pro-

cesso eletroquímico e as quantidades de substâncias envolvidas, etc. O problema que surge para estabelecer essas relações quantitativas entre ambas as dimensões da matéria, a macroscópica e a microscópica, entre as massas e os volumes e o número de partículas envolvidas, é que essas partículas são muito pequenas e não podem ser medidas e selecionadas em pequenas quantidades, sendo necessário medir um grande número delas por vez. Por isso foi introduzido o conceito de *mol*, um conceito químico tão fundamental quanto as ideias de átomo ou molécula, que permitiu estabelecer uma aparentemente simples relação proporcional entre os coeficientes das reações químicas e as quantidades de substâncias que intervêm em cada processo.

Se nos concentrarmos nas leis químicas elementares que os estudantes do ensino médio devem aprender e em suas aplicações quantitativas (ver Quadro 6.13), encontraremos que aparentemente não são suscitadas muitas dificuldades matemáticas na hora de utilizá-las. Das aplicações das leis dos gases até as relações estequiométricas dentro de uma reação, passando pelos cálculos de concentrações de uma solução, praticamente a grande maioria dos cálculos químicos, salvo algumas exceções (por exemplo, o cálculo do pH), podem ser realizados aplicando relações de proporcionalidade. Isto, que em uma primeira abordagem parece muito simples, constitui, contudo, o grande problema da compreensão e aplicação das relações quantitativas em química: o *raciocínio proporcional*. O cálculo de proporções, conectado com um dos principais esquemas analisados no Capítulo 4 (ver Quadro 4.7 e, também, Quadro 6.4), causa grandes dificuldades aos estudantes na hora de aplicá-lo à resolução de problemas de química, principalmente, como assinala Gailiunas (1987), levando em consideração o número de proporções diferentes

QUADRO 6.13**Algumas das principais aplicações quantitativas da química no ensino médio**

- Cálculos com *mois*
- Cálculos de número de partículas (átomos, etc.)
- Aplicações das leis dos gases
- Concentração de soluções
- Ajuste de reações
- Cálculos estequiométricos
- Equilíbrio químico

e sucessivas que neles aparecem. Isso faz com que o aluno, para aplicar as leis quantitativas da química e resolver problemas que envolvam cálculos matemáticos, precise estabelecer estratégias mais ou menos complexas que permitam organizar os passos sucessivos para encontrar uma solução. Isso nos leva ao problema da estratégia e dos procedimentos de trabalho em química, que serão tratados mais amplamente na seção seguinte.

Contudo, além dessas dificuldades, o aluno vai encontrar outras quando se trata de aprender e aplicar as leis quantitativas da química. São as dificuldades próprias dos conceitos envolvidos nessas leis. Nesse caso, o conceito chave na maioria das leis quantitativas é, ao mesmo tempo, o principal entrave: o *mol*.² Conceito integrador na história da química, o *mol* leva a uma simplificação dos cálculos e permitiu abandonar outros conceitos, como normalidade e peso equivalente, que hoje em

dia são obsoletos. Contudo, apesar de seu papel simplificador, esse conceito parece obscuro e difícil de compreender e aplicar para a maioria dos alunos (basta ver sua definição), o que faz com que eles o utilizem de maneira mecânica e algorítmica, dificultando, portanto, a compreensão de outros conceitos e das leis da química. As dificuldades concretas na aprendizagem e na utilização deste conceito já foram muito estudadas, e suas características principais estão resumidas no Quadro 6.14 (para mais informação, ver Pozo et al., 1991).

Da mesma maneira, não se pode esquecer que para poder calcular o número de partículas que compõem um sistema determinado ou estabelecer diferentes relações em nível atômico ou molecular, ou até eletrônico, é necessário recorrer à chamada constante de Avogadro, o que significa adicionar uma nova dificuldade, dado que se trata de um número que está além de qualquer esforço de imaginação dos estudantes. Apesar de numerosos livros didáticos proporem exemplos que tentam ajudar o aluno a procurar uma relação entre o valor deste número e algo tangível relacionado com o mundo que ele conhece (por exemplo, os 1.000km de altura em camadas de bolinhas de gude que teriam que cobrir a Espanha para conseguir um número de Avogadro dessas bolinhas), longe de facilitar a compreensão e aplicação desse número, acabam reforçando a ideia de que se trata de um conceito ina-

² O *mol* é a unidade, no Sistema Internacional, da magnitude *quantidade de matéria*. Foi definido oficialmente em 1957 pela IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics) e em 1967 pela IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) como "A quantidade de matéria de um sistema que contém tantas entidades elementares como átomos há em 0,012kg de carbono-12. Ao utilizar o *mol* é necessário especificar o tipo de entidades elementares, que podem ser átomos, moléculas, íons, elétrons ou outras entidades ou grupos específicos de tais entidades."

QUADRO 6.14**Algumas dificuldades no trabalho com a quantidade de matéria e o *mol***

O trabalho com a magnitude *quantidade de matéria* e o manejo de sua unidade no Sistema Internacional, o *mol*, introduz numerosas dificuldades no aprendizado da química. Essas dificuldades poderiam ser resumidas da seguinte maneira:

- Dificuldades com o conceito de *mol*
 - Definição complexa. Os alunos não compreendem a definição e a utilizam de forma algorítmica para estabelecer uma relação entre *mols* e massas.
 - A definição é mal utilizada em muitos livros didáticos.
 - O *mol* é uma ponte entre o mundo macroscópico e o microscópico, mas os alunos, na maior parte das vezes, não são capazes de perceber onde estão (assim, por exemplo, não podem distinguir entre número de átomos e *mols* de átomos).
- Necessidade de utilizar a constante de Avogadro nos cálculos
 - Um número tão grande que está além da imaginação do aluno.
 - Dificuldades com conceitos relacionados
 - Semelhança fonética entre um grande número de conceitos (*mol*, molécula, molar, molaridade, etc.) que, contudo, são completamente diferentes.
 - Dificuldades para distinguir e coordenar as relações de *mols* com os coeficientes das equações ajustadas.
 - Aplicação do volume molar dos gases a todo tipo de substâncias (incluídos líquidos e sólidos).
 - Utilização de falsas leis de conservação dos *mols*.

cessível e criam, em mais de um aluno, a consciência de que estão sendo vítimas da aterrorizante química.

Sem intenção de sermos exaustivos, podemos assinalar mais alguns exemplos da interferência entre as dificuldades suscitadas pelos cálculos proporcionais e aquelas próprias das leis e dos conceitos estudados, que podem representar verdadeiros obstáculos à aprendizagem dos alunos. Por exemplo, é isto que ocorre quando é preciso aplicar os cálculos estequiométricos às reações químicas. Surgem dificuldades devidas, por exemplo, à confusão entre coeficientes das substâncias e subíndices das fórmulas quando se ajusta ou é necessário trabalhar com uma equação química, são criadas falsas leis de conservação (volume, *mols*, etc.) ou não se diferencia entre relações em *mols* e relações em massas. Também é isso que ocorre quando se trabalha com soluções e é preciso calcular, interpretar ou comparar concentrações.

Dificuldades gerais com a quantificação

Contudo, antes de chegar a isso, o aluno encontra dificuldades mais gerais para compreender os aspectos quantitativos das teorias científicas. Essas dificuldades estariam relacionadas, como foi mostrado no Capítulo 4, com a forma como ele estrutura seus conhecimentos em suas próprias teorias implícitas. Como já vimos, apareciam alguns supostos conceituais que caracterizavam as teorias e, dentro deles, aparecia uma dimensão quantitativa. A partir desse ponto de vista, compreender a ciência implica o uso combinado de três esquemas de quantificação, cujo uso está muito longe de ser habitual entre os estudantes, inclusive os universitários: a proporção, a probabilidade e a correlação. Os três são importantes para compreender os conceitos e as leis químicas: por exemplo, a probabilidade serve para compreender o conceito de entropia como medida do número de

distribuições possíveis de um sistema ou a espontaneidade de um processo como evolução até seu estado mais provável; a correlação serve para compreender e estabelecer, por exemplo, a relação entre o número de átomos de carbono dos compostos orgânicos e os valores quantitativos de suas propriedades físicas; e a proporção, para poder comparar as concentrações de duas dissoluções.

Diante disso, os estudantes tendem a organizar suas teorias em torno de esquemas muito mais simples e mais fáceis de utilizar. Esses esquemas, em sua forma mais primitiva, inicialmente concentram-se em uma ausência de quantificação ou, em outras palavras, em uma visão exclusivamente qualitativa dos fenômenos estudados, que eles dificilmente são capazes de quantificar (a substância se dissolve ou não se dissolve, o recipiente esfria ou esquenta, há ou não há reação química, as moléculas se movimentam, etc.). Contudo, diante da necessidade de estabelecer uma certa quantificação, geralmente induzida pelo contexto escolar, os alunos recorrem a regras simplificadoras de caráter basicamente intuitivo e aproximativo, similares às que todos nós utilizamos em nossa tentativa de dar sentido à atividade cotidiana e de compreender o mundo que nos rodeia. Essas regras, ou *heurísticas* (como foram denominadas no Capítulo 4), possuem certas características que ajudariam o aluno a realizar tarefas ou compreender leis cuja análise lógica seria muito difícil, de modo que em muitas ocasiões levariam a resultados incorretos, mas outras vezes permitiriam que ele chegasse a deduções ou soluções corretas (como veremos mais adiante, quando falarmos do cálculo proporcional).

Essas regras simplificadoras, ou heurísticas, seriam mais simples de aplicar do que os três esquemas de quantificação que mencionamos (probabilidade, correlação e covariação) e, portanto, os alunos

recorreriam habitualmente a elas, especialmente naqueles casos em que a tarefa é mais difícil e eles precisam liberar recursos cognitivos suficientes para abordá-la. Assim, quando devem fazer cálculos com uma reação química, simplificam o problema estabelecendo estequiometrias 1:1 ou recorrendo a uma falsa lei de conservação dos *mols*; quando precisam comparar os volumes ocupados por diferentes substâncias, comparam diretamente suas massas; para averiguar qual solução está mais concentrada dentre duas apresentadas, simplesmente comparam as quantidades de soluto de cada uma, prescindindo da quantidade de solvente em cada caso; ou estabelecem relações de proporcionalidade direta entre duas variáveis quaisquer, independentemente de qual seja a relação entre elas (por exemplo, se a massa molecular é duplicada, duplica-se a quantidade de substância, se aumenta o volume, aumenta a pressão do gás, etc.).

Apesar de a compreensão da química envolver a utilização dos três esquemas de quantificação citados, os conteúdos propostos para esta disciplina fazem com que, contudo, a proporção seja o esquema que os alunos precisam utilizar com mais frequência durante o aprendizado da química que é ministrada no ensino médio.

As dificuldades do cálculo proporcional

A proporção é um esquema amplamente descrito por Inhelder e Piaget (1955) e supõe o conhecimento da relação de igualdade entre duas razões. Portanto, exige conhecer que uma mudança em um membro da proporção pode ser compensada com uma mudança no outro membro, sem que mude a igualdade entre as duas razões. Segundo Inhelder e Piaget, a compreensão das proporções não aparece em domínio algum antes de as operações formais estarem constituídas.

Diversos estudos mostraram que nas dificuldades para realizar cálculos proporcionais intervêm variáveis que dependem do indivíduo, da tarefa e do contexto em que ela é apresentada (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993; Sanz et al., 1996). Em geral, esses estudos mostram a grande dificuldade dos adolescentes e dos adultos para resolver corretamente problemas de proporção, inclusive tarefas nas quais intervêm razões simples. De fato, diante da estratégia matematicamente correta – que implica a igualdade entre duas razões e, portanto, uma compensação multiplicativa – foi encontrada uma tendência geral entre os indivíduos que resolvem tarefas proporcionais no sentido de recorrer a estratégias mais simples e menos elaboradas (Sanz et al., 1996). Essas estratégias abrangem desde as mais primitivas em termos evolutivos, estratégias qualitativas, até chegar às estratégias quantitativas parcialmente corretas, como a aditiva e a de correspondência (ver Quadro 6.15). Essas estratégias estariam relacionadas com os três níveis que assinalamos nos Quadros 4.7 e 6.4.

A estratégia mais simples, a *qualitativa*, consiste em ignorar uma parte dos dados do problema comparando entre magnitudes absolutas. Não se estabelece, portanto, cálculo numérico algum. Essa estratégia é própria das crianças menores (Pérez Echeverría, 1990), mas é utilizada

com frequência pelos adolescentes (Pérez Echeverría, Carretero e Pozo, 1986). Encontramos um exemplo da utilização dessa estratégia pelos alunos que estudam química quando se trata de comparar e avaliar concentrações: centram sua atenção em apenas uma das variáveis, em vez de pensar no valor numérico da concentração: prestam atenção somente na quantidade de substância ou somente no volume (por exemplo, Pozo et al., 1993; Sanz et al., 1996; Valcarcel e Sánchez, 1990).

A estratégia *aditiva* – um pouco mais complexa que a anterior, mas que com muita frequência leva a erros matemáticos – consiste em comparar os membros de duas frações por meio de somas e subtrações. Por exemplo, subtrair um termo do outro e levar, depois, a diferença para a segunda razão. No Quadro 6.16 são mostrados dois exemplos do que o uso dessa estratégia representa: segundo Inhelder e Piaget (1955), seria a estratégia que caracteriza a criança na fase das operações concretas. Contudo, assim como ocorre com a estratégia qualitativa, também é utilizada amplamente por adolescentes (Karplus e Karplus, 1972; Karplus e Peterson, 1970), sobretudo nos problemas mais difíceis.

A estratégia por *correspondência* ou *construção* consiste em estabelecer uma relação de proporção em uma razão, que

QUADRO 6.15

Estratégias utilizadas pelos alunos no cálculo proporcional

As quatro estratégias mais frequentes com que os alunos enfrentam os cálculos proporcionais são as seguintes:

- Estratégia qualitativa
- Estratégia aditiva
- Estratégia de correspondência
- Estratégia proporcional

QUADRO 6.16**Dois exemplos do uso de uma estratégia aditiva****PROBLEMA 1** (estratégia aditiva e resposta incorreta)

Sabendo que na água as quantidades de oxigênio e hidrogênio estão presentes em uma proporção de 8g de O por 1g de H, que quantidade de O terá de haver para se obter 10g de H?

Os alunos que resolvem o problema por meio de uma estratégia aditiva diriam:

$$\frac{8}{1} = \frac{X}{10}$$

e subtrairiam: $8 - 1 = 7$

para transferir a diferença para a outra razão $X - 10 = 7$, portanto, ficaria $X = 17$

O aluno responderia que são necessários 17g de O para que houvesse 10g de H.

PROBLEMA 2 (estratégia aditiva e resposta correta)

Determine qual das seguintes soluções está mais concentrada: A: 3g de NaOH em 2L de água, ou B: 4g de NaOH em 2L de água.

Um aluno que conheça e domine o conceito de concentração de uma solução pode, contudo, utilizar uma estratégia aditiva para resolver o problema. Assim, para comparar as concentrações,

$$\text{Conc A} = \frac{3}{2} \quad \text{e} \quad \text{Conc B} = \frac{4}{2}$$

subtrairia: $3 - 2 = 1$ e $4 - 2 = 2$, e concluiria que A está mais concentrada que B.

posteriormente, se aplica à outra razão. Essa estratégia é utilizada por muitos indivíduos, inclusive especialistas, quando se trata de resolver problemas de química, e pode levar, dependendo do caso e da interpretação que o aluno faça, a resultados corretos ou incorretos. De fato, pode-se dizer que as leis tradicionais da química (as leis ponderais) induzem à utilização desta estratégia. No Quadro 6.17 são mostrados alguns exemplos de sua utilização.

Tal como acabamos de comentar, e foi mostrado nos exemplos dos Quadros 6.16 e 6.17, não se deve esquecer que, mesmo a estratégia sendo incorreta, pode levar a resultados corretos, o que às vezes dificulta sua avaliação e pode proporcionar ao aluno uma informação errônea sobre seus conhecimentos. Assim, muitos alunos ficam surpresos quando obtêm resultados incorretos ao utilizar estratégias que em outros casos tinham levado a um resultado correto.

Pérez Echeverría, Carretero e Pozo (1986) comprovaram que o uso de estratégias mais ou menos elaboradas dependia da idade e do nível escolar, além do tipo de problema. O mesmo indivíduo varia no tipo de estratégia usada dependendo da tarefa. Portanto, parece que o cálculo de proporções não é um problema de competência, ou seja, de que os alunos não saibam utilizá-la em absoluto, senão um problema de atuação que depende de fatores que afetam tanto a tarefa quanto o sujeito. Do ponto de vista da tarefa, Tourniaire e Pulos (1985) distinguem entre variáveis estruturais (magnitude dos números, se são proporções direta ou inversamente proporcionais, se são ou não proporções equivalentes, se o trabalho é com números inteiros ou decimais) e variáveis contextuais (conteúdo da tarefa, tipo de resposta que se exige do indivíduo, ou que a apresentação seja analógica, química e/ou matemática).

QUADRO 6.17**Dois exemplos do uso da estratégia de correspondência****PROBLEMA 1** (estratégia de correspondência e resultado correto)

Qual das duas soluções seguintes está mais concentrada?

Solução A: 3 mol de NaOH em 5L de água

Solução B: 2 mol de NaOH em 4L de água

Utilizar uma estratégia de correspondência implicaria estabelecer uma relação proporcional na segunda razão 1:2 e levá-la para a primeira. O aluno diria que a primeira (A) está mais concentrada, dado que, para ter a mesma concentração, teríamos de ter $3/6$ e, deste modo, dispomos de 1L a menos de água.

PROBLEMA 2 (estratégia de correspondência e resultado incorreto)

Em um laboratório foi descoberto um novo elemento: o esférico (símbolo E). Ao estudar suas propriedades descobriu-se que 3g de esférico reagem completamente com 5g de manganês para formar o esferuro de manganês. Se fizermos reagir 2g de esférico com 4g de manganês, sobrá algum resto de alguma das substâncias?

Utilizar uma estratégia de correspondência implicaria estabelecer uma relação proporcional na segunda razão 1:2 e levá-la para a primeira. O aluno diria que sobra esférico, porque para ter a mesma proporção precisaríamos ter 3g de esférico e 6g de manganês.

Com respeito ao indivíduo que resolve a tarefa, devemos considerar variáveis tais como desenvolvimento cognitivo, idade, nível de instrução, dependência/independência de campo, capacidade mental, etc. Em função dos conteúdos envolvidos, em química temos encontrado (Pozo, Gómez Crespo e Sanz, 1993; Sanz et al., 1996) que o cálculo proporcional é mais difícil de utilizar no caso das reações químicas do que no das soluções, apesar de que, do ponto de vista matemático, a demanda da tarefa é a mesma (ver os dois exemplos do Quadro 6.17).

Igualmente, nesse estudo encontramos que no caso das soluções eram utilizadas com mais frequência estratégias proporcionais para a resolução do problema, enquanto nas reações eram mais usadas as estratégias de correspondência. Isso pode estar relacionado com o fato de que as leis das reações químicas, ou as interpretações que se fazem de uma equação ajustada, normalmente se expressam em termos de correspondência

(por exemplo, para formar água, 2 mol de moléculas de hidrogênio combinam-se com 1 mol de moléculas de oxigênio), de tal maneira que na hora de fazer cálculos proporcionais se induz, de certo modo, a utilização de regras de correspondência (cognitivamente mais simples do que as regras multiplicativas). De fato, muitos especialistas resolvem corretamente problemas de química por meio de estratégias de correspondência corrigidas, chegando ao resultado mediante aproximações sucessivas. A diferença entre o especialista e o aprendiz de química estaria em que o primeiro conhece perfeitamente onde precisa efetuar a correção para obter a resposta correta.

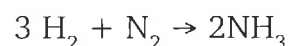
Centrando-nos nas dificuldades do cálculo proporcional, em função do conteúdo químico existem suficientes exemplos das dificuldades que nossos alunos encontram ao aplicá-lo. São muito importantes as dificuldades que os estudantes encontram ao trabalhar com soluções, que se devem sobretudo ao fato de a con-

centração de uma solução ser função de duas variáveis, diretamente proporcional a uma – a quantidade de substância – e inversamente proporcional à outra – o volume da solução. Encontramos que são mais fáceis de resolver os problemas em que muda somente uma variável, sobretudo quando o que muda é a quantidade de soluto (diretamente proporcional à concentração), e que se tornam mais difíceis quando o que muda é o volume (inversamente proporcional) ou quando mudam as duas variáveis (Serrano e Blanco, 1988).

Os cálculos com reações apresentam, por sua vez, numerosas dificuldades. Assim, os alunos, por exemplo, utilizam falsas leis de conservação dos *mols*; estabelecem relações diretas entre massas dos compostos que participam em uma reação, sem levar em consideração os coeficientes da reação ajustada; não compreendem o significado químico da reação ajustada; não distinguem entre subíndices e coeficientes nas fórmulas; ou não compreendem a lei das proporções definidas (Yarroch, 1985; Schmidt, 1986). Porém, por trás de tudo isso há uma diferenciação entre dois níveis diferentes de análise (o macroscópico e o microscópico), junto com a tendência de procurar regras simplificadoras que diminuam a demanda da tarefa.

No nível macroscópico cumprem-se leis que estabelecem as relações entre as massas dos diferentes compostos que participam em uma reação, por exemplo, as leis de Lavoisier, ou lei de conservação da massa, e de Proust, ou lei das proporções definidas. Contudo, no nível microscópico as relações quantitativas em uma reação química referem-se aos átomos e às moléculas, de modo que, a partir dos coeficientes de uma equação ajustada e dos subíndices das fórmulas moleculares, podemos estabelecer relações de proporcionalidade entre o número de moléculas

de cada substância ou o número de átomos de cada elemento que participa no processo. Isso supõe entender que quando escrevemos



isso quer dizer que 3 *mol* de moléculas de hidrogênio reagem com 1 *mol* de moléculas de nitrogênio, muda a estrutura microscópica da matéria e ocorre uma nova organização dos átomos e, por isso, não obtemos 4 *mol* de moléculas de amoníaco, senão 2 *mol* de moléculas. Contudo, os alunos misturam ambos os níveis de análise, estabelecendo leis homólogas para os cálculos com massas e com quantidades de matéria. Assim, dado que sabem que existe uma lei de conservação da massa, estendem essa lei à quantidade de matéria, aplicando uma falsa lei de conservação dos *mols*, que se traduz em interpretar que a soma dos coeficientes do primeiro membro tem que ser igual à soma dos coeficientes do segundo membro. Diante da relação de proporcionalidade que se expressa por meio dos coeficientes da reação, estabelecem uma relação de proporcionalidade mais simples, 1:1, que pode se estender tanto para massas como para quantidades de matéria, ou uma dupla proporção, como a que representa a expressão 3H_2 (3 moléculas formadas por dois átomos de hidrogênio cada uma) leva-os a interpretar que há uma molécula formada por 6 átomos de hidrogênio.

OS PROCEDIMENTOS PARA FAZER E APRENDER QUÍMICA

No Capítulo 3 assinalávamos que a aprendizagem da ciência implica não só aprender conceitos, mas também aprender procedimentos de trabalho. Portanto, prosseguindo com a análise que estamos fazendo das dificuldades dos alunos para

aprender química, nesta seção vamos nos concentrar nas dificuldades relacionadas com os procedimentos de trabalho. Tradicionalmente, considera-se que um objetivo importante da química é que os alunos possam utilizar seus conhecimentos na solução de problemas e, de fato, isso representa um dos recursos didáticos mais utilizados na sala de aula para ensinar e consolidar os diferentes conhecimentos. Por isso, tomaremos a resolução de problemas como ponto de referência para a análise das dificuldades de aprendizagem de procedimentos em química.

Apesar de, como foi dito, esse ser um dos recursos didáticos mais utilizados no ensino da química, no trabalho habitual na sala de aula existe uma certa confusão quanto ao significado do conceito de problema. Em muitas ocasiões, sob este título estão escondidas atividades que não passam de simples exercícios. De qualquer modo, tanto exercícios como problemas exigem a utilização de procedimentos de trabalho. Ocorre, contudo, que os procedimentos envolvidos são de diferente natureza em cada caso. Embora os diversos tipos de problemas admitam numerosas classificações – considerando a forma como são trabalhados na sala de aula e os objetivos e conteúdos do currículo –, para a discussão das dificuldades de aprendizagem pode ser útil retomar a classificação em problemas qualitativos, problemas quantitativos e pequenas pesquisas (Pozo e Gómez Crespo, 1994; ver também Capítulo 3). Essa classificação ajuda a distinguir entre os diferentes tipos de problemas propostos na sala de aula, mesmo que nem sempre essa diferença apareça de maneira nítida e que seja difícil estabelecer uma fronteira entre eles. De fato, as tarefas complexas exigem a solução dos três tipos de problemas. Por exemplo, as pequenas pesquisas normalmente exigem análises quantitativas e qualitativas prévias à resolução.

Problemas qualitativos

Como já assinalamos no Capítulo 3, entendemos como problemas qualitativos aqueles que o aluno pode resolver por meio de raciocínios teóricos, baseando-se em seus conhecimentos, sem necessidade de recorrer a cálculos numéricos ou manipulações experimentais. No Quadro 6.18 são mostrados alguns exemplos de problemas qualitativos em química.

A utilização na sala de aula desse tipo de atividade está voltada a estabelecer relações entre os conteúdos de química específicos (nos exemplos, teoria cinética, teorias ácido-base ou equilíbrio químico) e os fenômenos que eles permitem explicar, ao mesmo tempo em que fazem com que o aluno reflita sobre seus conhecimentos pessoais, sobre suas próprias teorias, ao fazer com que as aplique à análise de um fenômeno concreto, mais ou menos próximo, dependendo dos níveis em que se esteja trabalhando. Por isso, os problemas são um bom instrumento para o aluno trabalhar os conceitos que foram desenvolvidos na sala de aula, e alcançam um alto valor formativo, especialmente quando são trabalhados e discutidos em grupo.

Em química, os principais obstáculos que os estudantes encontrarão no trabalho com esse tipo de atividade estão relacionados fundamentalmente com as dificuldades para compreender os conceitos envolvidos, que foram discutidos nas seções anteriores. São atividades que forçam o aluno a explicitar suas ideias, a trabalhar com elas e a refletir sobre seu significado. Por isso, se as tarefas são corretamente enfocadas eles não têm alternativa a não ser utilizar suas teorias, o que faz com que os problemas sejam um bom instrumento, útil para ativar os processos de *explicitação* necessários para a mudança conceitual e para a diferenciação e comparação entre diferentes explicações e modelos. Assim, os dois primeiros exemplos que são apre-

QUADRO 6.18**Alguns exemplos de problemas qualitativos em química****Exemplo 1**

Quando adicionamos uma gota de tinta em um copo com água, a gota faz uma pequena mancha. Se deixarmos o copo em repouso, observaremos que após certo tempo a água está completamente escura. Por que você acha que acontece isso?

(Pozo e Gómez Crespo, 1997a.)

Exemplo 2

Em um laboratório temos dois frascos: um com cloreto de sódio e o outro com nitrato de prata. Os dois são líquidos transparentes, mas quando adicionamos o cloreto de sódio sobre o nitrato de prata e os misturamos vemos que no fundo do recipiente se forma um sólido de cor branca. Por que você acha que acontece isso?

(Pozo e Gómez Crespo, 1997a.)

Exemplo 3

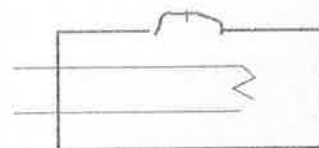
A fenolftaleína é um indicador ácido-base cuja forma ácida HIn é incolor e a forma alcalina In^- é cor-de-rosa. Que mudança de cor será observada na valoração de ácido clorídrico com hidróxido de sódio?

(Provas de Acesso à Universidade, ano letivo 1990/91.)

Exemplo 4

Quando a lâmpada de um retroprojektor queima, é possível observar que se formou uma bolha na parede de quartzo. A bolha aparece na mesma zona em que está o espelho onde a luz reflete e que fica muito próxima à lâmpada. Também é possível ver que o quartzo na zona da bolha escureceu. Sabendo que se trata de uma lâmpada halógena e conhecendo seu funcionamento, por que você acha que ocorre isso?

(Gómez Crespo, 1993.)



sentados no Quadro 6.18, relacionados com as soluções e com as reações químicas, exigem que o aluno utilize a teoria cinético-molecular para focar o problema. De fato, são atividades que foram utilizadas na sala de aula com alunos de diversas idades, e utilizadas também para o estudo das ideias e teorias dos alunos sobre a matéria (Pozo e Gómez Crespo, 1997a).

Centrando-nos na análise dos dois primeiros exemplos, uma das primeiras dificuldades que os alunos irão encontrar é focar o problema. Os enunciados, tal como são apresentados, podem ser, em alguns casos, excessivamente abertos, outras vezes ambíguos, e podem ser resolvidos a partir de muitos pontos de vista, fazendo com que se obtenham respostas excessivamente dispersas. Outro efeito

que ocorre com frequência é que os alunos, diante de tantas opções, não sabem como devem focar o problema e têm um “branco”. Em qualquer um desses casos a tarefa perderia todo seu potencial didático, uma vez que não levaria os alunos a uma reflexão sobre aquilo que se quer trabalhar. Por isso, o trabalho do professor estaria encaminhado a focalizar o problema no terreno em que queremos avançar, que nesse caso é a teoria corpuscular da matéria, ajudando o aluno a reconhecer a pergunta, delimitando o problema por meio de outras perguntas ou centrando a atenção em determinados aspectos (por exemplo, no movimento da nuvem de tinta ou no que ocorreria se mexêssemos a água, no primeiro caso; ou até na natureza das substâncias presentes no começo e no final, no caso da reação).

Nos exemplos 3 e 4 são apresentadas questões para alunos do final do ensino médio. Nesses problemas, devem ser aplicadas as leis do equilíbrio químico ao estudo dos dois fenômenos envolvidos. A diferença entre esses dois exemplos e os anteriores está nos passos intermediários para explicar o fenômeno. Enquanto nos exemplos 1 e 2 o aluno pode aplicar diretamente a teoria corpuscular, em termos de movimento e interação, nos exemplos 3 e 4 ele irá encontrar uma dificuldade adicional, uma vez que não pode aplicar diretamente as leis do equilíbrio ao fenômeno estudado. É necessário que antes traduza a informação que é proporcionada pelo enunciado para a linguagem química, que estabeleça uma equação química sobre a qual poderá aplicar tais leis, o que requer uma estratégia de atuação relativamente complexa.

No exemplo 3, é proporcionada uma parte da informação: trata-se de um indicador ácido-base e são conhecidas as espécies químicas que intervêm. Contudo, o aluno deve integrar essas espécies dentro de um sistema em equilíbrio, deve relacionar esse equilíbrio com outro, o de neutralização entre o ácido clorídrico e o hidróxido de sódio e, além disso, deve estabelecer uma relação entre a cor e a concentração das espécies envolvidas. Não é simples encontrar uma resposta, não basta compreender e saber utilizar determinados conceitos: é necessário, também, estabelecer relações complexas entre eles. Os alunos aos quais está destinada esta questão são iniciantes no estudo da química, e é provável que não reúnam a maioria dos requisitos necessários para resolvê-la. Mesmo assim, muitos conseguem resolvê-la com êxito, mas isso não quer dizer que compreenderam o problema em termos de equilíbrios e interação entre equilíbrios. Em muitos casos, simplesmente utilizam estratégias dirigidas a reconhecer modelos de problemas.

Vejam um exemplo de como um aluno do final do ensino médio (17-18 anos) poderia resolver este problema:

- trata-se de um exercício de ácido-base;
- fala de indicadores e das cores do indicador;
- corresponde à valoração que sempre é colocada como exemplo, e eu lembro que, quando se colocava a base, acabava sempre cor-de-rosa;
- então, tem de haver mais I^- , porque é o que tem essa cor;
- como sei que nos problemas ácido-base sempre intervêm equilíbrios, vou dizer que ao adicionar a base o equilíbrio do indicador desloca-se para sua forma alcalina e por isso fica cor-de-rosa.

O aluno seguiu uma estratégia, nada desprezível do ponto de vista lógico, que permite encontrar uma resposta a partir de seus conhecimentos químicos (que ele realmente tem), mas não estabelece as relações pretendidas entre os equilíbrios químicos. Provavelmente não seja um bom exemplo para uma atividade de avaliação, especialmente para as provas de vestibular, mas pode ser uma boa atividade de aula se o professor propõe uma discussão e a utilização das teorias de equilíbrio e ácido-base.

O exemplo 4 do Quadro 6.18 também trata de um equilíbrio químico, mas as dificuldades que os alunos irão encontrar serão um pouco diferentes. Em primeiro lugar, da maneira como o problema foi apresentado o aluno não conta com informações suficientes para resolvê-lo. Precisa conhecer, no mínimo, como funciona uma lâmpada, especificamente uma lâmpada halógena, e saber qual equilíbrio ou equilíbrios se estabelecem no sistema nesse caso. Precisa procurar essa informação no próprio texto do problema, perguntando ao professor ou por outros meios. Contudo, uma vez que ele tem essa

informação, ainda precisa estabelecer uma relação entre a deformação sofrida pela lâmpada e a temperatura alcançada nessa zona do sistema, para poder estabelecer um deslocamento local do equilíbrio. Isso certamente não é nada fácil, e essa é uma atividade que, se nos limitarmos a explicar e proporcionar a resposta ao aluno, provavelmente não irá contribuir em nada para o seu aprendizado. Melhor do que isso é considerar que se trata de uma atividade cujo potencial reside na possibilidade de ser trabalhada em grupo e discutida com os colegas, formulando e avaliando diversas hipóteses. Nesse caso, o papel do professor seria o de facilitar o enfoque do problema, evitando que o debate se torne disperso, e a proporcionar informação complementar que permita o contraste dessas hipóteses.

Vimos quatro exemplos de problemas qualitativos em química, todos diferentes e com demandas e dificuldades diversas. Mas todos têm em comum a necessidade de aplicar conceitos, modelos ou teorias estudados nas aulas à explicação de determinados fenômenos. Provavelmente, o principal problema surgido na solução deste tipo de questão – que, em alguns casos, também é comum aos problemas quantitativos – esteja em que não basta o aluno conhecer, compreender e saber utilizar os diferentes conceitos químicos envolvidos. Muitas vezes, ele também deve estabelecer conexões múltiplas e complexas entre esses conceitos. É um problema de gradação das dificuldades no qual frequentemente incorrem os professores de química, especialistas nessa disciplina e acostumados a estabelecer essas conexões. Compreender um conceito e aplicá-lo à solução de um problema não é a mesma coisa que estabelecer conexões com outros conceitos para resolver esse problema. Essa falta de gradação das dificuldades, que na química aparece fundamentalmente no fim do ensino médio, leva os alunos a procurar

atalhos ou regras simplificadoras (como mostrávamos no exemplo 3) que garantam um certo sucesso na tarefa, mas que fazem com que a atividade trabalhada perca uma grande parte de seu potencial de aprendizagem. Se o aluno centra sua atenção em memorizar ou, neste caso, em reconhecer a relação entre tipos e soluções de problemas, por exemplo, não vai estar centrado em compreender os conceitos e suas relações.

Problemas quantitativos

Como já foi dito no Capítulo 3, entendemos como problema quantitativo aquele em que o aluno deve manipular dados numéricos e trabalhar com eles para alcançar uma solução, seja ela numérica ou não. São problemas nos quais fundamentalmente se recebe informação quantitativa, mesmo que o resultado não precise, necessariamente, ser dessa natureza. Por isso, as estratégias de trabalho estarão focadas nos cálculos matemáticos, na utilização de fórmulas ou na comparação de dados. No Quadro 6.19 apresentamos alguns exemplos desse tipo de problema em química.

Esses são e têm sido os problemas mais frequentemente utilizados no ensino da química. De fato, alguns professores chegam a conceber grande parte do ensino como um treinamento para resolver essas tarefas e, conseqüentemente, centram a avaliação na resolução de problemas ou até de exercícios quantitativos. São um tipo de problema, junto com os outros dois que mencionamos (qualitativos e pequenas pesquisas), úteis para a aprendizagem da química, que servem fundamentalmente para treinar o aluno no uso de técnicas e algoritmos que permitam abordar problemas mais complexos, ao mesmo tempo em que facilitam a compreensão das leis da natureza.

QUADRO 6.19**Alguns exemplos de problemas quantitativos em química****Exemplo 1**

Dadas três espécies químicas e sua composição em prótons, elétrons e nêutrons:

- A: 5 prótons, 5 elétrons e 6 nêutrons
- B: 5 prótons, 5 elétrons e 4 nêutrons
- C: 6 prótons, 5 elétrons e 5 nêutrons

Indique qual é o número de massa e o número atômico de cada uma delas.

Exemplo 2

O nitrogênio forma uma série de compostos com o oxigênio, nos quais encontramos diferentes combinações de massa de nitrogênio e oxigênio. Em um laboratório foi feita a análise de cinco substâncias (A, B, C, D e E) que contêm N e O, e foram encontradas as seguintes composições:

	A	B	C	D	E
N	0,45g	0,25g	1,00g	2,00g	1,50g
O	0,257g	0,286g	1,73g	4,58g	4,25g

Analisando esses dados, indique quais substâncias correspondem ao mesmo composto químico.

Exemplo 3

Na reação de combustão do pentano (C_5H_{12}), este composto reagiu com o oxigênio para produzir dióxido de carbono e água. Ajuste a reação e calcule a massa de água que se obtém a partir de 216 gramas de pentano. Calcule o volume de dióxido de carbono que se obtém no caso anterior, medido em condições normais.

Exemplo 4

Uma solução é preparada dissolvendo-se 5g de ácido clorídrico em 35g de água. Agita-se para que o ácido dissolva totalmente, e no final obtemos uma solução cuja densidade é $1,06g/cm^3$. Calcule sua concentração medida em *mol/l*.

Contudo, o uso, e muitas vezes o abuso, desse tipo de problema tem alguns inconvenientes. Em primeiro lugar, geralmente são baseados em atividades muito delimitadas e dirigidas pelo professor, nas quais a tarefa do aluno fica restrita à aplicação das destrezas exigidas em situações delimitadas, ou seja, em muitas ocasiões os problemas transformam-se em exercícios de aplicação de um algoritmo determinado (ver o Capítulo 3, ou Pozo e Gómez Crespo, 1994). Isso faz com que, de modo geral, seja fácil alcançar um relativo êxito quando o aluno reconhece o “tipo” de problema que está enfrentando. Contudo, assim que muda o formato ou o conteúdo, os alunos sentem-se incapazes

de aplicar à nova situação os algoritmos aprendidos. A verdadeira dificuldade dos alunos consiste em averiguar do que trata o problema, e assim que o professor ou o livro didático proporcionam uma sugestão (de *mols*, de equilíbrio, etc.) deixa de haver um problema. No exemplo 1 do Quadro 6.19, vemos um problema muito simples, no qual o aluno somente precisa saber o que são os números de massa e atômico, para determiná-los por meio de uma simples soma. Contudo, muitos alunos, mesmo nesse caso, tendem a aplicar algoritmos que facilitam seu trabalho, que transformam o problema em um exercício no qual não é necessário estabelecer conexões com os conceitos químicos e que os

leva a obter um resultado fácil (por exemplo, somar sempre os dois que são diferentes). Inclusive, alguns professores chegam a induzir a aplicação dessas “dicas” ou “regras infalíveis”, que aparentemente facilitam a realização da tarefa, mas que, na verdade, dificultam sua compreensão. Outro caso é o exposto no exemplo 2. O aluno pode aprender que para resolvê-lo basta calcular o quociente entre as duas massas. É suficiente que ele identifique o problema para resolvê-lo com sucesso, mas, com isso, também não irá melhorar sua compreensão da química.

Em geral, pode-se dizer que uma das dificuldades que os alunos vão encontrar na resolução desse problema estará relacionada com o escasso significado que tem para eles o resultado obtido. Mesmo em um grau menor do que no caso da física, como veremos no capítulo seguinte, neste caso o problema de química e o problema matemático sobrepõem-se, de modo que em muitas ocasiões o último mascara o primeiro. Os alunos aplicam cegamente um algoritmo ou um modelo de problema, sem chegar a compreender o que estão fazendo, de tal maneira que quando muda o contexto ou a apresentação do problema sentem-se perdidos e desamparados. O importante é encontrar uma solução, um número. Inclusive ocorrem casos em que alguns alunos deixam, aparentemente sem justificção alguma, um problema resolvido pela metade. Assim, no exemplo 4 do Quadro 6.19, podem falar todas as proporções entre as massas em cada composto e, contudo, não responder quais substâncias correspondem a um mesmo composto químico; posteriormente, quando são corrigidos, levam as mãos à cabeça dizendo “mas eu sabia fazer”. Ocorreu, simplesmente, que com o “número” obtido ele atingiu uma meta que o enche de “prazer”, mas o impede de perceber que o enunciado do problema pedia ir um pouco além dessa solução numérica. O traba-

lho do professor, neste caso, deveria ser ajudar a separar o problema matemático do problema de química, valorizar tanto a solução química quanto a matemática, evitando ficar apenas com o dado numérico, exigindo um raciocínio químico em termos das teorias e dos modelos utilizados para a resolução.

Em química, são poucas as dificuldades matemáticas que os alunos encontram, pelo menos nos ensinamentos fundamental e médio. Como comentamos na seção anterior deste capítulo, na maioria das ocasiões, salvo algumas exceções, as principais dificuldades estão ligadas ao uso do cálculo proporcional. Uma dessas dificuldades é o número de proporções diferentes e sucessivas que é necessário realizar para resolver um problema (Gailiunas, 1987; Pozo et al., 1991). O aluno precisa estabelecer uma estratégia que integre as diferentes relações de proporcionalidade e que o leve dos dados de partida aos resultados que lhe são pedidos. Tudo isso sem o apoio de fórmulas ou equações que possam ajudá-lo a fixar a informação. Superar a tarefa depende de encontrar a estratégia adequada, que na maioria dos casos consta de vários passos, o que faz com que seja longa e complexa. É o que ocorre com os chamados problemas de estequiometria (dois casos podem ser vistos nos exemplos 3 e 4 do Quadro 6.19). No primeiro deles, o aluno deve, em primeiro lugar, calcular a quantidade de substância que supõem os 216g de pentano, para estabelecer a relação com a quantidade de substância de dióxido de carbono e, posteriormente, calcular a que volume equivale nessas condições. Trata-se de um problema relativamente simples, que requer uma estratégia simples na qual é preciso integrar apenas três passos que se encadeiam de modo linear. Contudo, nem sempre é assim. Muitos problemas de química requerem estratégias muito mais longas, em que os diferentes passos

não transcorrem de modo linear, senão de modo ramificado. Inclusive, às vezes, é necessário sobrepor linhas de atuação paralelas, que se juntam no final. Este é o caso do exemplo 4.

No final do ensino médio aumentam as dificuldades. Assim, os alunos terão de estabelecer relações mais complexas entre as diferentes variáveis estudadas para resolver um problema. Terão de trabalhar com funções exponenciais (por exemplo, para estabelecer a relação entre as constantes de velocidade e equilíbrio com a temperatura) ou com funções logarítmicas (por exemplo, para calcular o pH de uma solução). Mas nem todas as dificuldades estarão nos cálculos, que em muitos casos podem ser bastante simples, senão nas interpretações qualitativas das diversas leis (lei de Arrhenius, princípio de Le Chatelier, etc.), que em alguns casos podem chegar a implicar o manejo de inequações (por exemplo, o caso do estudo da espontaneidade das reações químicas).

Pequenas pesquisas

Tal como foi proposto no Capítulo 3, entendemos como pequenas pesquisas aqueles problemas em que se faz ao aluno uma pergunta cuja resposta necessariamente requer a realização de um trabalho prático, dentro ou fora do laboratório escolar. São problemas que, com suas limitações, constituem uma boa aproximação ao trabalho científico, permitem relacionar os conceitos teóricos com algumas de suas aplicações práticas e ajudam a transferir os conhecimentos escolares para âmbitos mais cotidianos. No Quadro 6.20 são apresentados alguns exemplos desse tipo de problema em química.

Esse problema tenta aproximar o aluno, de um modo simplificado, do que representa a pesquisa científica. Para isso, utiliza a observação e a formulação de hi-

póteses. Contudo, embora muitos livros e projetos tenham tentado o contrário, constituem apenas uma aproximação fictícia e forçada daquilo que se chamou “método científico”. Apesar de em muitas atividades se propor que o aluno pesquise determinadas questões (ver alguns dos exemplos do Quadro 6.20), ele não dispõe da formação, dos meios ou do tempo necessário para desenvolver essa pesquisa. De fato, na maioria dos casos as tarefas podem acabar sendo abertas demais, ou ambíguas, para muitos estudantes, que pedem instruções mais precisas para poder transformá-las em exercícios. Nestes casos, o professor pode ajudar proporcionando informação ou formulando perguntas que ajudem a limitar a tarefa, sem permitir que chegue a transformar-se em um exercício. O perigo está no outro extremo: que sejam proporcionadas instruções tão detalhadas (como ocorre em muitas propostas de atividades de laboratório) que o verdadeiro problema do aluno seja ser escrupulosamente fiel às instruções recebidas (por exemplo, colocar 70cm³ de água, agitar durante dois minutos e meio, etc.), perdendo a perspectiva de qual é realmente o problema de química.

Nos exemplos do Quadro 6.20 são mostradas tarefas em que o aluno precisa desenvolver uma estratégia de resolução para encontrar uma resposta. Deve desenvolver não apenas estratégias de atuação, mas também para relacionar os conceitos envolvidos com aquilo que é pedido. No exemplo 1, provavelmente a primeira dificuldade que ele vai encontrar é como realizar as medidas de volume que a tarefa requer. Se a atividade for realizada em laboratório, provavelmente isso não terá maior importância, pois ele conhecerá e encontrará ao seu alcance os instrumentos tradicionais de medição de volume. Contudo, se a proposta for para realizar a atividade fora da sala de aula, o problema

QUADRO 6.20**Alguns exemplos de pequenas pesquisas em química****Exemplo 1**

Quando se misturam quantidades iguais de dois líquidos, o volume final da mistura é a soma dos volumes iniciais? Desenhe uma experiência que permita que você comprove isso (por exemplo, você pode utilizar água e álcool).

Exemplo 2

Projete uma experiência que permita comparar os conteúdos energéticos de várias substâncias combustíveis e determinar qual é a mais eficaz e a mais barata na hora de aquecer um objeto (por exemplo, um recipiente com água). As substâncias que você vai utilizar são álcool etílico, parafina (velas) e gás butano (bico de Bunsen do laboratório). Qual é a mais econômica? Qual é a mais rápida? Qual delas tem maior conteúdo energético?

(Gómez Crespo et al., 1995)

Exemplo 3

O objetivo desta atividade é determinar a eficácia de diferentes filtros solares. Deixaremos que você projete a experiência segundo seu critério. Você vai precisar refletir sobre as amostras que vamos utilizar e decidir como analisar os protetores solares de modo que possa fazer boas comparações. Depois de seu primeiro ensaio, pode decidir modificações que levarão a melhorar seu método.

Os seguintes pontos podem ajudá-lo:

1. A melhor fonte de radiação ultravioleta para as frequências indicadas é, obviamente, o sol. Uma lâmpada de bronzamento solar doméstica também é boa, mas não emite frequências acima de $9,3 \times 10^{14}$ Hz. Uma lâmpada ultravioleta de série, das utilizadas nos laboratórios escolares, emite frequências entre $9,3 \times 10^{14}$ e $10,7 \times 10^{14}$ Hz, e para esta frequência a pele é muito sensível.
2. A radiação ultravioleta não atravessa o vidro. Atravessa completamente o plexiglas e também o plástico utilizado para embrulhar.
3. Há várias possibilidades para detectar a radiação.
 - a) Papel reativo à luz ultravioleta que se torna azul em presença da luz ultravioleta do sol. (Algumas vezes, este papel sensível aos raios ultravioleta é usado em controles de segurança para comprovar se quem está usando sai do edifício. Você pode usá-lo para analisar a eficácia de um vidro como filtro solar, aderindo pedaços deste papel sensível dentro e fora de uma janela.)
 - b) Com um pedaço de tecido que tenha sido lavado com detergente. (A maioria dos detergentes para máquinas de lavar roupa contém compostos fluorescentes. Você pode observar essa fluorescência sob os efeitos da luz de algumas danceterias.) Um pedaço desse tecido terá um brilho fluorescente sob a luz ultravioleta.
 - c) A água tônica é fluorescente com luz ultravioleta.
 - d) Alguns papéis fotocopiados são fluorescentes.

(Projeto Salters, 1997)

da medição, embora muito simples, pode ser um pouco mais difícil. Contudo, se o aluno for estimulado a realizar a tarefa, será capaz de encontrar por seus próprios meios numerosos instrumentos de medição em seu ambiente cotidiano (seringas de medicamentos, mamadeiras graduadas, copos de medida na cozinha, etc.) ou de construir seus próprios instrumentos

(por exemplo, graduando com uma régua diversos recipientes de forma regular). Esse é um exemplo de como uma atividade que deve ser feita fora da sala de aula, em um contexto cotidiano, pode ser muito enriquecedora para o aprendizado. Mas nem sempre é assim, sobretudo em química. Muitas atividades exigem materiais e elementos de segurança que não

são encontrados fora de um laboratório (é o caso do exemplo 2, que é muito mais adequado para o trabalho no laboratório escolar).

Agora, um problema que surge com as atividades que são realizadas no laboratório é que a utilização de um material especializado, com nomes muitas vezes misteriosos (kitassatos, filtro buchner, erlenmeyer, bico de Bunsen, etc.), junto com as medidas de segurança necessárias (avental, óculos de proteção, capelas para exaustão de gases, etc.), pode fazer, como ocorre em muitas ocasiões, a atenção do aluno ser desbordada pela espetacularidade das montagens ou pela parafernália externa, impedindo que ele se concentre no problema em que está trabalhando, seja referente a determinados conceitos químicos, à ilustração de um fenômeno ou ao treinamento em certas técnicas de trabalho. Tudo isso pode contribuir para reforçar a visão da química que comentávamos no começo do capítulo: como um mundo especial, afastado do mundo real. Da mesma maneira, as chamadas demonstrações de laboratório, que servem para ilustrar fenômenos e princípios teóricos (por exemplo, as propriedades dos metais, o princípio de Le Chatelier, as leis da eletrólise, etc.), concentradas em sessões de 50 minutos, contribuem para fomentar a visão da química baseada no realismo interpretativo que comentávamos no início deste capítulo, que deixa o aluno com a ideia de que tudo está aí e ele tem que se limitar a observar – mesmo que muitas vezes ele não consiga ver, mas aceita porque quem diz é seu professor, que é uma pessoa de autoridade e, além disso, está nos livros. Não queremos dizer com isso que não se deve utilizar material complexo de laboratório ou não fazer demonstrações. Tudo isso é útil e necessário, mas com a precaução de que a espetacularidade do invólucro em que é apresentado não oculte a realidade do problema.

Por isso, acreditamos que essas atividades devem estar dirigidas à solução de pequenos problemas, mais próximos da realidade cotidiana, nos quais o aluno possa pôr em prática alguns (não é preciso que sejam todos ao mesmo tempo) dos procedimentos de trabalho da ciência, o que, por sua vez, irá ajudá-lo a aprender química. Em resumo, uma pequena pesquisa é um problema aberto em que o aluno deve comparar ou escolher entre vários possíveis modelos ou interpretações, mas não *demonstrar* um conceito ou ideia previamente estabelecido. Pesquisar é muito diferente de demonstrar.

Contudo, como já assinalamos no Capítulo 3, a aprendizagem da ciência, e neste caso da química, não apenas requer dos alunos que dominem os procedimentos envolvidos na elaboração do conhecimento científico mediante a resolução de problemas, ou seja, os procedimentos envolvidos em *fazer química*, ainda que seja no limitado âmbito da sala de aula ou do laboratório escolar. Os alunos devem, também, aprender os procedimentos necessários para *aprender química*, que apesar de, até certo ponto, estarem sobrepostos aos requeridos na solução de problemas de química escolar, às vezes, devido ao caráter mais geral e não específico da disciplina, ou por serem apenas instrumentais, são tratados de um modo mais implícito do que explícito, são dados como já sabidos, em vez de serem ensinados e trabalhados de maneira específica. Aprender química não é muito diferente, nesse sentido, do que envolve aprender outras disciplinas escolares, seja geografia, literatura ou matemática, com as quais compartilha alguns procedimentos gerais de trabalho (ler textos e compreendê-los, expressar a própria opinião oralmente e por escrito, interpretar um gráfico, tomar notas, etc.), que nem por isso são menos relevantes para o aprendizado de cada uma dessas disciplinas.

Procedimentos gerais para a aprendizagem da química

Assim como no resto das disciplinas escolares, retomando a diferenciação estabelecida no Capítulo 3 (ver também, com mais detalhe, Pérez Cabaní, 1997), os alunos precisam dominar algumas técnicas e estratégias que, embora não sejam específicas da química, sem elas podem ter dificuldades de aprendizagem adicionais. Embora ler um texto, argumentar a própria opinião ou interpretar um diagrama de barras não sejam atividades específicas das aulas de química, *também* são tarefas que os alunos devem cumprir para aprender sobre a estrutura e as propriedades da matéria. Portanto, ainda que possam ser suscetíveis de um treinamento mais geral ou interdisciplinar, devem ser abordadas também como objeto de ensino nas aulas de química, pois, caso con-

trário, não será possível garantir que os alunos serão capazes de utilizá-las de maneira adequada nesta disciplina. Os cursos gerais de *técnicas de estudo*, ministrados como disciplina, separados dos conteúdos das diversas disciplinas, são muito pouco eficazes nos hábitos de trabalho dos alunos se não forem acompanhados por um trabalho específico em cada uma das áreas do currículo em que são úteis (Nisbet e Shucksmith, 1986; Pozo e Monereo, 1999; Pozo e Postigo, 1997). A melhor maneira de ensiná-los é como um conteúdo procedimental a mais de cada uma das disciplinas, neste caso a química, se for possível em coordenação com outras no marco do projeto curricular da escola (Pérez Cabaní, 1997).

Como se tornaria prolixo demais fazer uma lista dos procedimentos que os alunos precisam para aprender química, o Quadro 6.21 resume alguns dos mais

QUADRO 6.21

Alguns procedimentos para a aprendizagem da química que, devido ao seu caráter geral ou instrumental, geralmente não são ensinados especificamente e, contudo, afetam o rendimento dos alunos

Aquisição de informação	<ul style="list-style-type: none"> - Tomar notas das explicações do professor - Sublinhar e selecionar a informação dos textos escritos - Registrar e recolher a informação das experiências realizadas - Buscar informação em bibliotecas, dicionários, bases de dados, etc. - Utilizar estratégias de revisão e/ou mnemônicas que facilitem a lembrança literal de dados e fatos
Interpretação da informação	<ul style="list-style-type: none"> - Decodificação de gráficos e tabelas - Elaboração de gráficos e tabelas a partir de informação apresentada em outro formato
Compreensão da informação	<ul style="list-style-type: none"> - Estratégias eficazes para a compreensão de textos científicos, com capacidade de extrair a ideia principal do texto, de compreender sua estrutura, etc. - Diferenciação entre diversos níveis de análise dos fenômenos químicos (macroscópico, microscópico, etc.) - Análise e comparação de diferentes modelos (por exemplo, diferentes modelos atômicos)
Comunicação da informação	<ul style="list-style-type: none"> - Procedimentos de exposição oral e escrita - Uso de diferentes técnicas de expressão escrita - Desenvolvimento de capacidades de argumentação, justificação das próprias opiniões

importantes. Tomando como base a classificação de procedimentos apresentada no Capítulo 3 (ver p. 65), os alunos devem ser capazes de *adquirir informação*, o que requer, por exemplo, desenvolver estratégias eficazes para tomar notas a partir dos textos que leem e das exposições do professor, selecionando a informação mais relevante e organizando-a de maneira adequada. Apesar de, ao longo de sua vida acadêmica, os alunos apoiarem boa parte de seu estudo nas anotações que fazem nas aulas, com frequência, *ninguém* ensina a tomar notas de maneira mais eficaz. A melhor maneira de ajudá-los é fazer com que reflitam em cada disciplina sobre o tipo de notas que tomam e suas metas. Frente à tendência de transformar-se em meros *copiadores*, conseguirão um aprendizado mais eficaz se tomarem notas de modo mais estratégico e seletivo (Monereo et al., 1999). Outro tipo de procedimentos para adquirir informação são todas as mnemônicas e estratégias de revisão, que facilitam a lembrança literal da informação. Embora essa forma de aprendizagem não seja a mais desejável, não há dúvida de que continuará sendo necessário que os alunos lembrem alguma informação verbal literalmente e, portanto, é útil que disponham de estratégias e *dicas* que ajudem sua memória, como aprender os elementos da tabela periódica por meio de rimas ou formando frases com eles.

Os procedimentos para *interpretar e analisar a informação* são, possivelmente, o núcleo dos procedimentos necessários para resolver problemas de química, tal como vimos em páginas precedentes, ao exigir do aluno que seja capaz de traduzir a informação de um código para outro (por exemplo, utilizar a *formulação química*), interpretar os fenômenos de acordo com os modelos da química, realizar cálculos matemáticos a partir desses modelos, utilizando principalmente estratégias de raciocínio proporcional, fazer inferências

quantitativas e qualitativas a partir deles e submetê-los, se possível, à comprovação empírica. Existem, não obstante, alguns procedimentos de interpretação da informação de caráter mais geral, não específicos da química, que os alunos também devem aprender. Entre eles, destaca-se a necessidade de utilizar *informação gráfica*, que requer procedimentos específicos que também devem ser treinados, com a finalidade de conseguir nos alunos uma alfabetização gráfica cada vez mais necessária na sociedade da imagem em que vivemos (Postigo e Pozo, 1999), não apenas para o aprendizado da química, mas para digerir de forma mais cabal a avalanche informativa à qual nos submetem os meios de comunicação social. Os próprios livros didáticos de ciências costumam incluir numerosas representações gráficas (ilustrações, tabelas, modelos, diagramas, etc.) – ver a análise realizada por Jiménez, Hoces e Perales, 1997 –, que com frequência são tratadas como meras ilustrações, quando, na verdade, contêm um notável potencial de aprendizagem se os alunos forem ajudados a relacioná-las com o texto escrito, ou seja, se forem ensinados a interpretá-las, a dar-lhes significado.

Quanto aos procedimentos para *compreender a informação*, o aprendizado da química, assim como o do resto das disciplinas, é baseado em grande medida no uso de textos e materiais escritos, o que torna imprescindível que os alunos dominem com soltura as estratégias necessárias para ler textos científicos, diferenciando a ideia principal da secundária, captando a estrutura do texto, etc. Apesar de que geralmente se dá como subentendido que os alunos possuem essas habilidades, com frequência fica comprovado que isso não é verdade, pelo menos não no caso da maioria deles, e que um treinamento específico nessas estratégias melhora a compreensão dos textos científicos (por exemplo, Kintsch, 1998; León, 1999;

Otero, 1997; Sánchez, 1998). Mas também é preciso desenvolver nos alunos habilidades essenciais para a compreensão da ciência, especialmente para conseguir a mudança conceitual, tal como a definimos e ilustramos, como, por exemplo, a capacidade de diferenciar e contrastar diferentes níveis de análise ou diferentes modelos do mesmo fenômeno entre si. Igualmente, os procedimentos para *comunicar a informação* são fundamentais para a compreensão da ciência. Como tentaremos mostrar no Capítulo 8, ao analisar alguns dos enfoques recentes para o ensino da ciência, a capacidade de argumentar, redescrever e comunicar os próprios conhecimentos é, no mínimo, tão importante quanto os próprios conhecimentos. De pouco serve saber química se *não se sabe dizer o que se sabe*. Diante da ideia de que comunicar é simplesmente dizer o que se sabe, todos os que nos dedicamos a *explicar* nossos conhecimentos a outros sabemos que esse ato de explicar ou explicitar o conhecimento também é uma fonte contínua de novas aprendizagens. E quantas coisas acreditávamos entender até que nos vimos obrigados a explicá-las a outros e tomamos consciência de nossas lacunas! E, ao contrário, quantas vezes descobrimos um novo sentido naquilo que sabemos ao ten-

tar explicá-lo! Aprender ciência é também aprender a explicar o que se sabe (Ogborn et al., 1996) e, nessa medida, como assinalam Serra e Caballer (1997), o professor de ciência também é professor de linguagem, deve ajudar seus alunos a expressar e explicar melhor o que sabem, produzindo textos científicos com diferentes metas e estruturas (Sanmartí, 1997), sabendo fazer um *relatório* rigoroso das experiências realizadas (Calvet, 1997), etc.

Em suma, aprender química não é só dominar a linguagem e os procedimentos da química; requer também dominar a lógica e os procedimentos da aprendizagem, sabendo procurar e incorporar a informação, interpretá-la, traduzindo-a de um código ou formato para outro, entendendo seu significado e estrutura, sendo capaz de compreender uma explicação, mas também de dar uma explicação compreensível. Essas habilidades sem dúvida parecem-nos escorregadias e dificilmente ensináveis, mas a pesquisa mostrou que melhoram sensivelmente se são ensinadas de modo explícito no contexto de um currículo dirigido também a *aprender a aprender* (Pozo e Monereo, 1999), neste caso química, embora, como veremos a seguir, a mesma coisa ocorra com o ensino e o aprendizado da física.