

desaparecerá e a menta, tal como o senso comum a identifica, deixará de ser menta...

A acidez de um ácido só tem sentido químico se mencionamos o solvente. Não existem ácidos por si, mas algo é ácido em relação a alguma outra coisa

Sendo o substancialismo uma crença bastante enraizada, a literatura didática de química tem se utilizado dele fartamente. Quando definem molécula, os livros geralmente apresentam conceitos como: “a menor parte da substância capaz de guardar suas propriedades”. A partir de definições desse tipo, a idéia transmitida ao estudante é a de que o constituinte isolado (molécula) contém em si os atributos do todo. Entretanto, como dizer que a molécula de água possui densidade, pressão de vapor, tensão superficial, pontos de fusão e ebulição etc? Tais propriedades pertencem ao conjunto, isto é, manifestam-se nas *relações* que as moléculas mantêm entre si.

De modo geral, podemos dizer que a substância *não* é nada em si mesma e que as características que lhe atribuímos se constituem, na verdade, em produto de um *jogo relacional*. Tanto é assim que a acidez de um ácido só tem sentido químico quando mencionamos o solvente. Não existem *ácidos por si*, mas algo é ácido em relação a alguma outra coisa. Em água, HNO₃ tem comportamento ácido; já em um meio de H₂SO₄, atua como base.

Aprofundando a discussão acerca do substancialismo, veremos que ele se apóia numa ciência realista, fortemente apegada ao concreto e receosa do abstrato. Nas palavras de Bachelard (1984: 49):

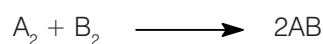
A química tornou-se assim o domínio de eleição dos realistas, dos materialistas, dos antimetafísicos. Químicos e filósofos trabalhando sob o mesmo signo acumularam nesse domínio uma tal quantidade de referências que existe uma certa temeridade em falar, como nós falaremos, de uma interpretação racional da química moderna.

O realismo, filosofia que permeia

toda a química lavoisieriana, consolidada-se no empirismo da balança. A massa, atributo diretamente mensurável da matéria, apresenta-se como espelho fiel da realidade química: transformam-se as substâncias, mas a massa se conserva. Se é possível pesar, então é possível pensar a substância. Nesse ponto não se estabelecem diferenças entre a experiência comum que revela o caráter extenso, contínuo e inerte da matéria e a experiência científica: no fundo, a balança do laboratório e a balança da mercearia falam a mesma linguagem.

No ensino de química, um problema diretamente derivado do realismo da massa aparece no trato com a estequiometria. Quando se pede ao aluno para relacionar quantidades de reagentes e produtos em termos de massa, as regras-de-três são montadas até com relativa facilidade. Todavia, quando se deseja que ele interprete e relacione, operando em termos das quantidades de mols envolvidas... as dificuldades logo se apresentam.

Mas a química substancialista tem diante de si outros problemas. Com o desenvolvimento da atomística, no final do século XIX, e com o advento das teorias quânticas no século XX, o pensamento químico é forçado a deslocar-se do realismo da massa para o racionalismo da energia. Sabemos que as reações químicas sempre foram tratadas pelo pensamento realista em termos de trocas materiais. Assim, descendo ao nível atômico-molecular, uma reação do tipo:



podia ser facilmente explicada admitindo-se o choque direto entre as moléculas de A₂ e B₂. A idéia de choque é tomada de empréstimo à mecânica newtoniana, sendo as moléculas vistas como bolas de bilhar submicroscópicas. Todavia, o choquismo não pôde explicar uma série de fenômenos químicos, como por exemplo a síntese do gás clorídrico a partir de hidrogênio e cloro em fase gasosa. Se o choque é causa determinante das transformações químicas, por que no escuro essa reação não

se processa? Seriam as moléculas de cloro e hidrogênio temperamentais?

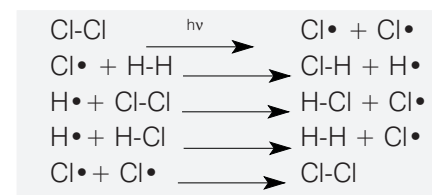
Os fenômenos fotoquímicos levaram cientistas como Perrin a abandonar, no início do século, a idéia de colisão molecular, condicionando as transformações materiais a ações rítmicas geradas pela energia radiante. Segundo Bachelard (1970: 72), a hipótese de Perrin considera

(...) que todas as reações químicas são reações fotoquímicas, ou seja, não se pode ter modificação estrutural a não ser por intermédio de uma energia radiante, energia necessariamente quantizada, posta sob a forma rítmica, como se as simetrias não pudessem ser modificadas senão por meio dos ritmos.

A partir daí, outra questão se coloca para o químico: não seria a hipótese de Perrin a simples substituição de um dogmatismo por outro? Ao primado do choque não se estaria opondo o primado do ritmo? É interessante notar que o próprio Perrin, em 1926, restabeleceu o choque como causa possível de reação, pois a hipótese fotoquímica, a exemplo do choquismo, não conseguia, por si só, explicar satisfatoriamente um conjunto mais amplo de fenômenos químicos.

Isso não significa retornar à sedutora imagem do bilhar molecular, mas repensar o modelo choquista em bases mais alargadas. Assim, a cinética química se desenvolve substituindo a noção primária de colisão mecânica pelo conceito de

interação molecular. Portanto, quando interpretamos uma reação como a síntese do gás clorídrico, devemos combinar os aspectos rítmicos e cinéticos a partir da noção bem mais racional de mecanismo:



Observamos, então, que sem o concurso da energia radiante *hν* não há quebra das ligações Cl-Cl, sendo essa etapa inicial determinante de todo o processo. O conceito de meca-

nismo pressupõe, portanto, a profunda cooperação entre os fatores energéticos e materiais. O ponto de ruptura entre a química racionalista e a química realista pode ser então assinalado, como faz Bachelard (1984: 62), a partir da consideração da substância como *devir*³:

Ora, este devir não é nem unitário nem contínuo. Apresenta-se como uma espécie de diálogo entre a matéria e a energia. As trocas energéticas determinam modificações materiais e as modificações materiais condicionam trocas energéticas(...). A energia é parte integral da substância; substância e energia são igualmente ser.

À medida que a atomística foi se desenvolvendo, o substancialismo e o realismo químico perderam terreno, refugiando-se, entretanto, em algumas noções difíceis de serem repensadas, como por exemplo a noção de propriedade. A partir da segunda metade do século passado, discute-se muito a questão das combinações entre os átomos, sendo a valência vista como capacidade dos elementos efetuarem combinações entre si. Kekulé estabeleceu o postulado da tetravalência do carbono após ter estudado compostos como o metano e seus derivados, associando então esse estado de combinação a uma propriedade do elemento. A partir daí, a valência passou a representar um atributo inalienável, ou, como prefere a literatura didática, uma *impressão digital* do elemento.

Entretanto, como bem salientou, já em 1928, B. Cabrera:

A valência é alguma coisa de mais complexo cuja origem está em relação com a estabilidade das novas configurações dinâmicas dos elétrons superficiais produzidas por causa das perturbações mútuas dos átomos em contato. É evidente que os detalhes dessa configuração e o grau de sua estabilidade dependerão da estrutura dos átomos que intervêm, de sorte que estritamente falando a valência não é uma propriedade de cada elemento isolado, mas do conjunto de átomos ligados. (citado por Bachelard, 1985: 139)

Considerando a valência enquanto produto da *relação* entre átomos, é possível compreender por que o car-

bono se mostra tetravalente no metano e trivalente no CO. No primeiro caso, a teoria da hibridação orbital oferece uma interpretação satisfatória. É importante notar, porém, que os híbridos sp^3 não existem no átomo de carbono isolado, formando-se apenas no momento da ligação. Já no caso do CO, é preciso recorrer à teoria dos orbitais moleculares, segundo a qual não apenas os elétrons periféricos, mas todo o conjunto de elétrons dos dois átomos interage de modo a permitir a ligação. Segundo a interpretação sugerida pela TOM, no CO há três orbitais antiligantes vazios e três orbitais ligantes preenchidos, o que permite explicar a ordem de ligação três e a trivalência.

Isso nos mostra que à antiga afirmação de que *o carbono é tetravalente* é preciso opor a de que *o carbono pode estar tetravalente*, a qual não indica a existência de nenhum atributo, mas de um estado constituído na relação entre os átomos.

Se a valência não é um atributo elementar, também a eletronegatividade não possui esse status, amplamente utilizado no ensino de química. Para explicar a polaridade de uma molécula como a do HCl diz-se que o cloro, sendo mais eletronegativo que o hidrogênio, atrai para si o par de elétrons da ligação covalente. Entretanto não é o atributo (eletronegatividade) que produz o deslocamento do par eletrônico da ligação, e sim este último que faz com que um elemento se torne *mais eletronegativo que outro*. Assim, a eletronegatividade não existe por si mesma enquanto propriedade elementar, mas é produzida na relação entre os átomos dos elementos quando estes se ligam. O fato do átomo de hidrogênio *ver*⁴ *menos* o par eletrônico se deve a seu menor poder polarizante, o qual é função do raio atômico e da carga nuclear efetiva.

Contra um realismo que bloqueia o pensamento, é preciso ter sempre em mente a sensata observação feita

por Heisenberg (1987: 140) acerca do mundo submicroscópico:

Nas experiências com fenômenos atômicos, temos que lidar com coisas e fatos, com fenômenos que são tão reais quanto aqueles da vida cotidiana. Mas os próprios átomos e partículas elementares não exibem o mesmo tipo de realidade: eles dão lugar a um universo de potencialidades ou possibilidades, em vez de um mundo de coisas e fatos.

Conclusões

Se examinarmos a literatura didática, veremos que ela, em sua grande maioria, enfatiza o caráter experimental da química. Mesmo as obras mais recentes, como a série *Química na abordagem do cotidiano*, de autoria de Tito e Canto⁵, não se desfazem desse pressuposto: "A química é

uma ciência eminentemente experimental, cujos reflexos se fazem sentir, das mais diversas maneiras, em nossa vida cotidiana".

Entretanto, a consideração da química como ciência predominantemente experimental se acha em desacordo com as novas construções científicas do século XX. Na qualidade de ciência que hoje se dedica basicamente ao estudo das transformações operadas pela técnica sobre a matéria, a química depende de um diálogo constante entre razão e empiria, teoria e prática, a razão se aplicando à experimentação e sendo dialeticamente retificada por esta.

A química é, pois, como toda ciência, um caminho pedregoso, árdua trilha de construções inacabadas. Afinal, o homem progride porque sua inteligência é capaz de vencer desafios, não porque se devota a desvelar segredos ocultos na noite das verdades universais.

Se a química contemporânea é uma ciência que se constrói através do diálogo entre razão e empiria, seu ensino não pode ficar centrado na monologia, seja na enfadonha monologia das classificações, das memorizações, das conceituações dogmáticas ou na monologia dos experimentos que 'falam' através de efeitos fascinantes mas na verdade

"... os próprios átomos e partículas elementares (...) dão lugar a um universo de potencialidades ou possibilidades, em vez de um mundo de coisas e fatos"

A eletronegatividade não existe por si mesma enquanto propriedade elementar, mas é produzida na relação entre os átomos dos elementos quando estes se ligam

nada dizem... O professor precisa, portanto, superar através do *diálogo* seu principal *obstáculo pedagógico*, ou seja, deve passar a compreender as razões pelas quais o aluno não compreende. Só assim ele poderá realizar, segundo ressalta Bachelard (1975), um verdadeiro 'voto secreto', indispensável ao sucesso de qualquer processo pedagógico: nunca se colocar como dono do saber, mas sempre na condição de estudante.

Notas

¹ Gaston Bachelard nasceu na França (1884-1962) e atuou por 16 anos como professor de ciências e filosofia antes de publicar seu primeiro livro na área da epistemologia. Sua vasta obra se divide em dois grandes campos: um dedicado à epistemologia, à história das ciências, especialmente física e química, e outro dedicado à imaginação e ao devaneio.

² Segundo a mitologia grega, Zeus dera uma caixa aos irmãos Prometeu e Epimeteu, pedindo-lhes porém que não a abrissem. Não resistindo à curiosidade, Pandora, mulher de Epimeteu, abriu a caixa, deixando escapar o que nela estava contido: todos os males do mundo.

³ Em termos filosóficos, o *devoir* representa a condição de vir a ser algo, ou, em outras palavras, a capacidade que o ser tem de sofrer transformações, convertendo-se em outro.

⁴ Usamos propositalmente o termo 'ver' para comentar como, na literatura didática, um mero recurso de expressão pode se constituir em meio absoluto de

explicação: Sardella e Mateus (1983: 100) representam o átomo de hidrogênio por meio de um boneco que, munido de uma luneta, pergunta: "onde estará meu elétron?"

⁵ Tito M. Peruzzo & Eduardo L. do Canto, *Química na Abordagem do Cotidiano*. Passagem extraída da apresentação comum aos três volumes da coleção.

Referências bibliográficas

- BACHELARD, GASTON. *A filosofia do não*. Lisboa, Presença, 1984.
- _____. *Études*. Paris, Vrin, 1970.
- _____. *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin, 1947.
- _____. *Le matérialisme rationnel*. Paris, P.U.F., 1972.
- _____. *Le rationalisme appliqué*. Paris, P.U.F., 1975.
- _____. *O novo espírito científico*. Rio de Janeiro, Tempo Brasileiro, 1985.
- HEISENBERG, WERNER. *Física e filosofia*. Brasília, UnB, 1987.
- PERUZZO, TITO M. & CANTO, EDUARDO LEITE DO. *Química - na abordagem do cotidiano*. São Paulo, Moderna, 1993, vols. 1, 2 e 3.
- SARDELLA, ANTONIO e MATEUS, EDE-

GARD. *Química*. São Paulo, Ática, 1983.

Para saber mais

JAPIASSU, H. *Introdução ao pensamento epistemológico*. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1991.

LOPES, A.C.R. Livros didáticos: obstáculos verbais e substancialistas ao aprendizado da vivência química. *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*. Brasília, INEP (v. 74, nº 177), pp. 279-308, 1993.

LOPES, A.C.R. Currículo e a construção do conhecimento na escola: controvérsias entre conhecimento comum e conhecimento científico. In: Moreira, A.F.B. (org.). *Conhecimento educacional e formação do professor*. Campinas, Papi-rus, 1994, pp. 39-52.

PARENTE, Leticia T. de S. *Bachelard e a química no ensino e na pesquisa*. Fortaleza, EUFC, 1990.