

Livros Didáticos: Obstáculos Verbais e Substancialistas ao Aprendizado da Ciência Química*

Alice Ribeiro Casimiro Lopes

Escola Técnica Federal de Química do Rio de Janeiro

Analisamos o ensino de Química no Brasil, do ponto de vista epistemológico e histórico, a partir de 107 livros didáticos utilizados na escola secundária, no período de 1931 a 1990. A epistemologia de Gaston Bachelard foi utilizada como referencial teórico, com destaque para a categoria de "obstáculo epistemológico", entendida como um entrave inerente ao próprio conhecimento científico, bloqueando a compreensão e o desenvolvimento da ciência. Entre os diferentes tipos de obstáculos, destacamos neste artigo o verbalismo e o substancialismo.

Introdução

A pesquisa que tem por objeto o livro didático já adquiriu considerável desenvolvimento no País, como bem atestam o trabalho de Freitag, Motta e Costa (1987) e o *Catálogo Analítico da Biblioteca Central da Unicamp* (1989). Principalmente no que se refere à análise do conteúdo dos livros, constatamos um número significativo de trabalhos, de uma maneira geral destacando problemas metodológicos e erros conceituais no material analisado. A medida que crescem as pes-

* Artigo extraído da dissertação de mestrado *Livros Didáticos: Obstáculos ao Aprendizado da Ciência Química*, elaborada sob orientação do prof. José Américo M. Pessanha e co-orientação da Prof Leticia T. de S. Parente, defendida em dezembro de 1990, no Instituto de Estudos Avançados da Educação (IESAE/FGV/RJ). A primeira parte dos resultados desta pesquisa — *Obstáculos Animistas e Realistas* — está publicada em Lopes, 1992a.

quisas sobre os livros didáticos, consolida-se a conclusão quanto aos problemas inerentes a obras que seguem basicamente o mercado, e não os interesses do ensino. A única conclusão positiva nesse campo parece ser a de que nosso ensino seria ainda pior se não fossem os livros didáticos, tal o grau de dependência que o magistério nacional tem para com os mesmos (Freitag, Motta, Costa, 1987).

No que se refere especificamente aos livros didáticos de Química, o quadro de avaliação negativa não se altera, ainda que a produção nessa área se restrinja sobremaneira: dentre 40 trabalhos versando sobre livros didáticos de ciências no segundo grau, constantes no *Catálogo Analítico da Unicamp* (1989), apenas um (Schnetzler, 1980) aborda livros de Química. Após o período compreendido por esse catálogo, podemos ainda encontrar o trabalho de Mortimer (1988), além do nosso próprio trabalho (Lopes, 1990).

Conseqüentemente, podemos afirmar que muitos aspectos ainda estão para ser pesquisados nessa área, seja no domínio da análise do conteúdo, seja no que se refere aos aspectos políticos e econômicos, ou às formas de utilização do livro em sala de aula etc.

O campo no qual nos detivemos, ainda que se coloque na perspectiva de análise do conteúdo transmitido, se reporta ao referencial epistemológico, advogando o princípio de que pouco adianta modificarmos metodologias de ensino, caso não enfrentemos a discussão da tessitura epistemológica dos conceitos científicos ensinados. Essa vertente tem se mostrado cada vez mais presente na pesquisa em ensino de Química no Brasil, através dos trabalhos de Parente (1988 e 1990) e Oliveira (1990).

Tivemos por pressuposto em nossa análise que o conjunto de livros didáticos pesquisado reflete com alto grau de fidelidade os conteúdos ensinados em sala de aula. Apesar de muitos professores não utilizarem livros didáticos, é nesse material que eles procuram a orientação sobre o que ensinar e como ensinar. Daí considerarmos que a análise dos livros didáticos brasileiros tende a ser a própria análise do conteúdo de Química ensinado no País.

Sem dúvida o livro não é em si uma obra fechada, sendo possível que se faça bom uso de um mau texto. Contudo, as reconhecidas condições adversas de formação e trabalho do magistério nacional não nos permitem outras conclusões.

Na pesquisa aqui apresentada, analisamos 107 livros didáticos utilizados no ensino secundário de Química brasileiro, no período de 1931 a 1990. A escolha pelo início em 1931 se deveu ao fato de ter sido a partir desse ano que se iniciou a organização de um sistema de ensino envolvendo programas e diretrizes comuns para o País.

Dentro dos limites desse intervalo de tempo, englobam-se quatro reformas de ensino: Reforma Francisco Campos (Lei 19.890, de 18/4/1931); Reforma Gustavo Capanema (Lei 4.244, de 9/4/1942); Lei 4.024 de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), de 20/12/1961, e a Lei 5.692, de 11/8/1971.

Como já afirmamos anteriormente (Lopes, 1992a), a força das diretrizes legais sobre o conteúdo de química possui características diversas entre o período até 1962 e o período posterior. As Reformas Campos e Capanema, profundamente diretivas, especificavam em detalhes os conteúdos a serem ensinados, e os livros seguiam fielmente o padrão oficial. As reformas de 1961 e 1971, ao contrário, permitem a maleabilidade dos currículos e programas. Entretanto, não podemos afirmar que as reformas de ensino determinam ou direcionam como os livros são escritos; podemos, sim, considerar que diretrizes programáticas oficiais e livros didáticos obedecem a alguns condicionantes comuns e também se condicionam mutuamente.

Por exemplo, o período que cerca a promulgação da LDB 61 se caracteriza pela maior diversidade de livros: trata-se de um período de mudanças radicais nas orientações epistemológicas conferidas ao ensino de Ciências, em face das influências advindas dos projetos americanos¹.

¹ Referimo-nos, no caso do ensino de Química, aos projetos do *Chemical Education Material Study* e do *Chemical Bond Approach*, trazidos para o Brasil na década de 60.

Muitos livros são editados segundo as orientações mais tradicionais, definidas na Reforma Capanema, outros já apresentam as modernas teorias da ligação química. Mas como a lei do mercado é, em última instância, a determinante, aos poucos se estabelece uma homogeneização dos títulos, chegando-se ao período da Reforma 5.692 com os livros se assemelhando muito entre si.

Nessa pesquisa não estabelecemos nenhum limite *a priori* do conteúdo a ser investigado, envolvendo, portanto, livros das três séries da segunda fase do ensino secundário (atual 2º grau).

A análise do conteúdo de Química transmitido por esses livros foi feita com base na epistemologia de Gaston Bachelard, fazendo uso, especialmente, da categoria de *obstáculo epistemológico*. Analisamos quatro tipos de obstáculos epistemológicos: realistas, animistas, substancialistas e verbais. No presente artigo apresentaremos os resultados concernentes aos obstáculos verbais e substancialistas. As discussões com respeito aos outros dois tipos de obstáculos constam em Lopes (1990 e 1992a).

A noção de obstáculo epistemológico em Bachelard

A escolha do epistemólogo francês Gaston Bachelard deveu-se em grande parte, às possibilidades de questionamento da ciência oferecidas por sua obra. A luz da ciência contemporânea, notadamente da Física Relativística, das Geometrias Não-Euclidianas e da Mecânica Quântica, Bachelard procede à crítica ao realismo ingênuo, ao empirismo e ao racionalismo cartesiano que permeiam os discursos e as práticas científicas. Ainda que seu discurso não se faça para o cientista, mas para o filósofo: Bachelard não se debruça sobre a pesquisa científica para definir normas do bem fazer ciência, mas para interpretar o que o cientista faz e dialogar com os filósofos sobre a ciência de ponta. Em outras palavras, ele questiona as concepções dos filósofos a partir das novas interpretações científicas.

Ademais, a epistemologia de Bachelard apresenta-se como uma alternativa sólida à matriz empírico-positivista, desenvolvendo a noção de fenômeno científico enquanto construção instrumental e teórica, defendendo a noção de real científico enquanto real construído e a perspectiva de relação sujeito-objeto mediada pela técnica².

A ciência do século XX deixa de ser a descrição da Natureza, o pleonasma da experiência (Bachelard, 1975), consolidando-se como a estreita relação dialética da razão e da empiria: não há experiência sem racionalização, não há razão sem aplicação. O conhecimento não se desenvolve por acúmulo de informações, estando o Homem em busca da verdade maior na Natureza. O desenvolvimento da ciência é um processo descontínuo³, onde constantemente temos que romper com conhecimentos anteriores, desconstruí-los para construir um novo conhecimento. E nesse processo estamos sempre procurando suplantar os *obstáculos epistemológicos*.

Bachelard aborda os obstáculos epistemológicos, especialmente, em *La Formation de l'Esprit Scientifique*, publicado pela primeira vez em 1938. Nessa obra, ele afirma a necessidade de valorização do pensamento científico abstrato, apontando a experiência imediata como um obstáculo ao desenvolvimento dessa abstração.

Neste livro nos propomos a mostrar este destino grandioso do pensamento científico abstrato. Para isso devemos provar que *pensamento abstrato* não é sinônimo de *má consciência científica*, - como a acusação trivial parece dizer. Deveremos provar que a abstração desembaraça o espírito, que ela o alivia e que ela o dina-

² Para uma discussão sobre a concepção de fenômeno científico enquanto construção instrumental e teórica e suas influências no ensino de ciências físicas, ver Lopes, 1992b.

³ A concepção descontínua do conhecimento é um dos pontos básicos da epistemologia bachelardiana, marcando também sua diferenciação da matriz empírico-positivista. Com as noções de *racionalismos setoriais* e *ruptura epistemológica*, Bachelard introduziu a concepção de descontinuidade na cultura científica: há rupturas entre o conhecimento comum e o conhecimento científico e, no decorrer, no próprio desenvolvimento científico. Para maiores discussões sobre a noção de descontinuidade na epistemologia de Bachelard e suas influências no ensino de ciências, ver Lopes, 1992b.

miza. Proporcionaremos essas provas estudando mais particularmente as *dificuldades* das abstrações corretas, assinalando as insuficiências dos primeiros intentos, o peso dos primeiros esquemas, ao mesmo tempo que destacamos o caráter discursivo da coerência abstrata e essencial que nunca logra seu objetivo da primeira vez. E para mostrar melhor que o processo de abstração não é uniforme, não titubearemos em empregar às vezes um tom polêmico, insistindo sobre o caráter de obstáculo que apresenta a experiência, estimada concreta e real, estimada natural e imediata. (Bachelard, 1947, p.8-9)

Na medida em que sempre conhecemos contra um conhecimento anterior, retificando erros da experiência comum e construindo a experiência científica em diálogo constante com a razão, precisamos constantemente suplantar os obstáculos epistemológicos.

Não se trata de considerar os obstáculos externos, como a complexidade ou fugacidade dos fenômenos, nem de incriminar a debilidade dos sentidos ou do espírito humano: é no ato mesmo de conhecer, intimamente, onde aparecem, por uma espécie de necessidade funcional, os entorpecimentos e as confusões. É aí onde mostraremos as causas de estancamento e até de retrocesso, é aí onde discerniremos causas de inércia que chamaremos obstáculos epistemológicos. (Bachelard, 1947, p.15).

Segundo Lecourt (1980), o obstáculo epistemológico tende a se manifestar mais decisivamente para mascarar o processo de ruptura entre o conhecimento comum e o conhecimento científico, quando o pensamento procura prender o conhecimento no real aparente. Como afirma Parente (1990), comentando Lecourt, o obstáculo tende a se constituir como uma anti-ruptura.

A razão acomodada ao que já conhece, procurando manter a continuidade do conhecimento, opõe-se à retificação dos erros introduzindo um número excessivo de analogias, metáforas e imagens no próprio ato de conhecer, com o fim de tornar familiar todo conhecimento abstrato, constituindo, assim, os obstáculos epistemológicos.

Não podemos, contudo, considerar que Bachelard defende a impossibilidade de utilização de metáforas e imagens. Como já discutimos em Lopes (1992b), sua posição é de que a razão não pode se acomodar a elas, estando pronta a desconstruí-las sempre que o processo de construção do conhecimento científico assim o exigir.

Nesse sentido, os obstáculos epistemológicos nunca são definitivamente suplantados, uma vez que o espírito científico sempre se apresenta com seus conhecimentos anteriores, nunca é uma tabula rasa. E amalgamados aos conhecimentos estão os preconceitos, as imagens familiares, a certeza das primeiras idéias.

Frente ao real, o que se pensa saber, claramente ofusca o que se deveria saber. Quando se apresenta ante à cultura científica, o espírito nunca é jovem. Ao contrário, é velhíssimo, pois tem a idade dos seus preconceitos. (Bachelard, 1947, p.16)

O primeiro obstáculo a superar é o da opinião. Não podemos ter opinião sobre problemas que não conhecemos, sobre questões que não sabemos formular claramente, afirma Bachelard (1947). É preciso que formulemos devidamente as perguntas a serem respondidas, os problemas a serem investigados, pois os obstáculos epistemológicos se imiscuem justamente no conhecimento não formulado.

Segundo Bachelard (1947), a noção de obstáculo epistemológico pode ser estudada no desenvolvimento histórico do conhecimento científico e na prática da educação. Em ambos os casos, o trabalho se vê dificultado pela necessidade que temos de exercer um juízo epistemologicamente normativo: julgar a eficácia de um pensamento.

No campo da Educação, a análise dos obstáculos epistemológicos contribui para que se suplante o que Bachelard (1947) denomina de *obstáculo pedagógico*: entraves que impedem o aluno de compreender o conhecimento científico. A aprendizagem de um novo conhecimento é um processo de mudança de cultura, sendo necessário, para tal, que suplantemos os obstáculos epistemológicos existentes nos conhecimentos prévios do aluno. Torna-se necessária uma catarse intelectual e afetiva, capaz de psicanalisar o conhecimento objetivo⁴ do educando e, por que não dizer?, de todos nós, professores.

Obstáculos verbais

No dizer de Bachelard (1972b), a linguagem científica se encontra em estado de revolução semântica permanente: a construção de nova racionalidade exige nova linguagem. Portanto, a desatenção e o descaso para com os novos sentidos dos termos, nos limites de uma nova teoria científica, constitui-se obstáculo epistemológico. Por exemplo, os termos "camada" ou "nível", utilizados em textos que discutem o modelo quântico para o átomo, não podem ser compreendidos da mesma forma que o seriam se discutíssemos o modelo de Rutherford ou Bohr. Por sua vez, a palavra "orbital" deriva do termo "órbita" e com ele rompe completamente.

Será, então, intrinsecamente associada à noção de ruptura que se constituirá a linguagem para Bachelard. Além das rupturas presentes no processo de construção da ciência, precisamos estar atentos aos mascaramentos das rupturas existentes entre conhecimento científico e conhecimento comum.

O conceito de psicanálise em Bachelard possui o significado de retirar do conhecimento seu caráter subjetivo, que impede o desenvolvimento e a compreensão do pensamento abstrato. Não possui, portanto, paralelo com o conceito freudiano.

Como exemplo, Bachelard (1975) discute o rompimento radical da lâmpada elétrica com todas as técnicas de iluminação que lhe foram precedentes. Antes da lâmpada elétrica, a iluminação se baseava na combustão. A lâmpada de Edison se baseia no impedimento de que o material se queime. Configura-se uma ruptura que pode ser nublada pelo termo "lâmpada", entendido na acepção de objeto utilizado para iluminar.

Ocorre que a linguagem é apresentada sem a prévia discussão das idéias. Toda vez que a apreensão da linguagem se faz fora dos limites de pensamento em que foi construída acarreta interpretações falhas que entravam seu entendimento.

Tendo-se em vista os livros didáticos, a linguagem é um dos pontos que mais necessitam de avaliação criteriosa. O uso indiscriminado de termos científicos, sem distinguir seus significados em relação aos termos da linguagem comum, pode não apenas impedir o domínio do conhecimento científico, como também cristalizar conceitos errados, verdadeiros obstáculos à abstração. Retêm o aluno no realismo ingênuo ou transmite uma visão animica e antropomórfica do mundo.

E o caso, por exemplo, do uso do termo "nobreza". Em Química ser nobre significa possuir baixa reatividade, e alguns livros incorporam o termo de forma a salientar uma similitude com o ser nobre da sociedade humana: nascem estáveis, têm bom aspecto, são nobres (Lembo e Sardella, 1978). Almejam com isso tornar o conhecimento próximo do aluno, mas simplesmente distanciam cada vez mais o aluno do aprendizado, pois não é científico aquilo que se transmite.

São muitos os exemplos que poderíamos discutir, mas, por razões de espaço, optamos por analisar neste artigo esses dois tipos de obstáculos associados à linguagem em dois tópicos específicos: 1) desconsideração da ruptura entre conhecimento comum e conhecimento científico, através da discussão do uso do termo "espontaneidade"; 2) desconsideração de rupturas intrínsecas ao conhecimento científico, a partir da discussão dos termos "eletronegatividade" e "potencial de redução".

O uso do termo "espontaneidade"

Nos livros pertencentes ao período de vigência das Reformas Campos e Capanema, o tratamento conferido à Termodinâmica Química, campo ao qual se vincula o estudo da espontaneidade, era incipiente. As reações eram classificadas em espontâneas ou provocadas, reversíveis ou irreversíveis, segundo critérios respaldados diretamente no senso comum. Espontâneo era o processo que ocorria sem ação externa, naturalmente. As reações que necessitassem de calor, quer fosse para favorecer seu equilíbrio ou sua cinética, eram consideradas não espontâneas.

Alguns autores (Fróes, 1940; Brandão, 19--) colocavam a possibilidade de dada reação exotérmica ser provocada, mas insistiam que as reações endotérmicas sempre o são. Teoricamente, sustenta va-se o conceito de espontaneidade a partir do desenvolvimento dos princípios de Berthelot: "Um sistema de corpos tende a evoluir segundo a transformação química que produz a maior quantidade de energia" (Amado, 1939, p.22). A idéia parecia suficientemente clara, capaz de justificar sem maiores problemas o porquê da ocorrência de reações

químicas. Afinal, se há liberação de calor, passa-se de um estado de maior energia, mais instável, para um estado de maior energia, mais estável⁵.

Contudo, essa clareza apenas impedia a racionalização do conceito. Existem reações exotérmicas — tais como a queima do carvão — que não ocorrem sem que a ela cedamos uma ativação inicial. Como enquadrar uma reação, capaz de liberar tanto calor, como espontânea? A solução encontrada foi estabelecer verdadeiras noções-obstáculos: as resistências passivas.

⁵ O princípio de Berthelot é limitado porque, apesar da exotermia contribuir efetivamente para a espontaneidade, não é o único fator em jogo. Há que se levar em conta a variação de entropia, a qual pode favorecer processos endotérmicos e desfavorecer processos exotérmicos.

A maior ou menor estabilidade dos corpos depende de suas *resistências passivas*, isto é, das circunstâncias naturais que impedem a realização das reações, ou seja, que impedem a transformação íntima dos corpos. (Fróes, 1935, p.44)

Por outro lado, segundo livros dessa fase (Amaral, 1933 e 1936), que vai aproximadamente até 1961, podemos evitar o fornecimento de calor, necessário para vencer as resistências passivas, através da adição de um catalisador. Ou seja, mais uma vez, a não compreensão clara do conceito de espontaneidade dificulta o entendimento da Termodinâmica Química, inclusive confundindo-a com a Cinética Química (campo em que atuam os catalisadores).

A própria permanência da classificação das reações em reversíveis e irreversíveis, função da manutenção do conceito de espontaneidade enquanto sinônimo de ocorrência natural, é incoerente com essa mesma definição. Se a reação ocorre em um sentido, conclui-se que, no sentido oposto, ela obrigatoriamente não ocorre. Por outro lado, não se questiona que, se algumas reações são reversíveis, o conceito de espontaneidade não pode ser aplicado: se um dos sentido é não espontâneo, não ocorre, como a reação pode ser reversível?

O ponto não desenvolvido é que, de acordo com a Termodinâmica Química, a espontaneidade se associa à maior tendência de uma reação ocorrer, medida pela constante de equilíbrio: quanto maior K_c , maior a espontaneidade da reação. Não implica, portanto, ocorrência ou não da reação, como prevê o senso comum, na medida em que todas as reações são reversíveis em sistema fechado.

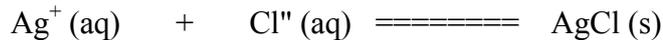
Seria de se esperar que, com a introdução de conceitos mais modernos da Termodinâmica Química, principalmente após os anos 60, esses obstáculos fossem superados. Contudo, isso não ocorreu, demonstrando que o problema não reside meramente em uma imprecisão conceitual.

Dentre os diversos livros analisados, não há discussão do termo espontaneidade nos limites da ciência, restringindo-se à colocação de sua dependência com G, associando-o com ocorrência ou não do processo. Permanece a classificação das reações em reversíveis e irreversíveis, impedindo a compreensão do equilíbrio químico e, principalmente, do equilíbrio iônico. Isso porque, primeiro o aluno aprende, no capítulo de reações químicas, que processos como:



são reações irreversíveis — ocorrem completamente.

Depois, iniciado o estudo de equilíbrio, deverá encarar como reversível:



sendo que esse processo e o anterior são quimicamente os mesmos. Ou seja, o conhecimento perde a coerência lógica, no máximo permitindo ao aluno que alcance um grau de instrumentalização que o capacite para resolver exercícios.

Muito mais racional seria que, desde o primeiro trabalho com reações químicas, fosse dada atenção ao fato de o processo ocorrer em solução aquosa, com dissociação dos íons e conseqüente reação entre eles. Inclusive sem se deter em classificações estéreis quanto à reversibilidade. Assim, no momento em que fosse tratado o problema da reversibilidade, este seria discutido à luz da Termodinâmica, sem o obstáculo das primeiras noções incorretas. E aí sim, seria fundamental apresentar ao aluno a diferença que os termos científicos têm em relação aos termos de nossa linguagem cotidiana.

Uso dos termos "eletronegatividade" e "potencial de redução"

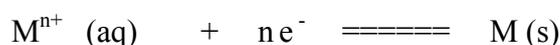
Os conceitos de eletronegatividade e potencial de redução possuem uma história com pontos de encontro passíveis de provocar confusões,

quando não se está atento às rupturas ocorridas na linguagem científica, como é o caso dos livros didáticos de Química.

Berzelius, ao desenvolver a teoria eletroquímica, organizou os corpos simples em ordem decrescente de eletronegatividade, sendo essa série definida em função da maneira como os elementos se ligam nos compostos (Rheinboldt, 1984). Mas os conceitos de eletropositividade e eletronegatividade de Berzelius são equidistantes dos conceitos atuais de potencial de redução e de eletronegatividade. Isto porque são definidos em função da carga do elemento no composto, determinada através da eletrólise.

O termo eletronegatividade utilizado por Berzelius ainda hoje pertence ao vocabulário científico, porém com sentido totalmente diverso: representa a atração por elétrons de um átomo neutro numa molécula isolada. Não mais se refere a um composto.

O potencial de redução, ao contrário, refere-se a um processo de um coletivo de espécies, já que se trata de uma medida associada ao equilíbrio:



A gênese desses conceitos é desprezada nos livros-texto e, conseqüentemente, evidencia-se o obstáculo verbal pelo não entendimento da alteração do significado científico do termo eletronegatividade. E, o que é ainda mais problemático, pela equiparação da eletronegatividade ao potencial de redução.

De maneira quase unânime, os livros analisados associam a eletronegatividade a maior tendência em atrair elétrons, sem especificar em que condições esse elétron é atraído ou como é feita essa medida ou seu cálculo. Da mesma maneira define-se o potencial de redução, levando-se indiretamente ao entendimento de que as duas grandezas medem o mesmo fenômeno.

Em alguns casos, a desconsideração dessa distinção é diretamente apontada: os autores afirmam que a fila das tensões eletrolíticas

(potenciais de redução) *representa* a ordem crescente de eletronegatividade ou que a eletronegatividade se associa ao poder oxidante ou redutor, característica indicada pelo potencial de redução (como exemplo, citamos Metcalfe, Williams, Castka, Mello, 1971; Carvalho, 1978).

É importante constatar que não se trata de um mero erro conceitual, gerado pelo desconhecimento químico. Temos, sim, um desconhecimento da gênese histórica dos conceitos, ou ainda, apesar de esta gênese ser conhecida, uma despreocupação em atentar para erros que certamente se formarão no estudante pelo fato de não ser explicitado o processo de construção dos conceitos.

Uma forma de solucionar esse problema no ensino é conferir maior atenção a precisão dos conceitos, inclusive atentando para as mudanças de significado que os termos sofrem ao longo da História das Ciências.

Obstáculos substancialistas

O substancialismo é considerado por Bachelard (1947) um dos grandes obstáculos ao conhecimento científico na Química, a qual não é a única ciência em que o obstáculo se apresenta, mas é aquela que o elege preferencialmente.

Para o conhecimento químico, obstaculizado pelo substancialismo, vigora o mito do interior, do mais profundo íntimo que encerra a qualidade. Assim, uma qualidade é tão mais substancial quanto mais íntima for, ficando estabelecido o que Bachelard (1947) classifica como substancialismo do íntimo articulado ao substancialismo do oculto, para o qual a substância é um interior.

Bachelard (1947) aponta ainda que o substancialismo se alterna do interior ao exterior, buscando no profundo as justificativas do evidente. Portanto, a idéia substancialista também se caracteriza pela noção de

qualidade evidente, a qualidade superficial. Nessa perspectiva, um conjunto de propriedades é visto como pertencente à dada substância; na substância encontra-se a razão única para todas as suas qualidades, não podendo haver variação de qualidade sem variação de substância. Em outras palavras, as qualidades são encaradas como atributos das substâncias, deixando-se de perceber que as substâncias químicas são inteiramente relativas umas às outras e suas propriedades são frutos dessas relações (Bachelard, 1973).

Igualmente não se considera a relação da propriedade substancial com a técnica. Exemplo disso é dado por Bachelard (1972b) no exame da cor do metal ouro. Dentro da perspectiva substancialista, o amarelo, evidente ao conhecimento comum, é tipicamente um predicado do ouro. Em qualquer estado de divisão desse metal a propriedade de ser amarelo deve se evidenciar. No entanto, lâminas muito finas de ouro apresentam um jogo de cores variadas de acordo com a espessura. Obtem-se assim o ouro verde, o ouro azul, rosa-violáceo, transcendendo ao simples amarelo natural. Percebe-se que a Natureza é pobre em fenômenos comparada ao que o Homem promove pela técnica articulada à razão.

Bachelard (1947) também questiona o ato característico do substancialismo de explicar diferentes manifestações da qualidade íntima, a partir de uma intensidade variável da essência. Isso facilmente é constatado em nossa prática docente: é comum o erro dos alunos considerando que, se a presença do próton (H^+) garante a acidez, quanto mais hidrogênio formador de próton houver na substância, maior será a acidez. Com essa análise, concluem que o H_3PO_4 aquoso é mais ácido que o HCl aquoso, o que não se aplica⁶.

Com o advento da Mecânica Quântica, o substancialismo perde de vez o sentido. Cada elétron é individualizado na substância por números quânticos a partir de cálculos probabilísticos. O objeto do estudo químico se matematiza: a substância, na sua complexidade matemática,

⁶ O que determina a maior acidez do HCl é sua maior interação com a água, acarretando uma liberação de H^+ muito maior do que no H_3PO_4 .

é pouco mais do que uma chance de reação (Bachelard, 1983). Institui-se outra racionalidade, não-substancialista, totalmente sem precedentes, rompendo-se com o estabelecido. A razão química, em seu diálogo com a técnica, avança no processo de realização do possível. E como afirma Bachelard (1973), o possível nunca é gratuito, mas já está incluído em um programa de realização. O possível não é o que existe naturalmente, mas certamente pode ser produzido artificialmente.

Os livros didáticos e os obstáculos substancialistas

Nos livros didáticos analisados, constatamos a grande força do substancialismo, principalmente através do descritivismo reinante no período até meados da década de 60. As propriedades das substâncias são enumeradas; saber química é conhecer as substâncias como conhecemos os objetos à nossa volta: quais são suas cores, seus sabores, onde podemos encontrá-las, quais são as transformações a que estão sujeitas. Entretanto, é conclusão precipitada conceber a ausência de obstáculos substancialistas no período após meados da década de 60, devido ao fim da fase empírico-descritivista⁷. Mesmo a inovação educacional da década de 60, articuladora da entrada dos princípios da Mecânica Quântica no ensino de Química, não provocou o questionamento do substancialismo dos químicos.

Trata-se de mais uma demonstração de que as mudanças de conteúdo não provocaram a ruptura da razão desenvolvida. Os conceitos transmitidos se modificaram, o século XX tardiamente alcança as páginas dos livros de Química de 2º grau, mas o faz apenas na superficialidade. E o químico do século XIX, obreiro, manipulador do real aparente, quem permanece ditando as formas de pensar cientificamente.

⁷ Elkana (1970, p. 15-35) aponta como tendência mundial no ensino de Ciências, até meados de 60, o empirismo-descritivismo, substituído posteriormente pela tendência empírico-positivista.

Podemos avaliar essa questão partindo da própria definição de substância, que pode variar entre a visão macroscópica — possui composição definida — e a visão microscópica — moléculas quimicamente iguais —, mas se iguala em um ponto: a substância pura apresenta constância de propriedades, propriedades essas que são atributos substanciais.

Propriedades específicas ou íntimas são inerentes, constantes em cada corpo, independentes da quantidade e da forma dos mesmos. Enquadram-se como propriedades específicas ou íntimas: cor, cheiro, sabor, solubilidade, densidade, temperatura de fusão, de ebulição etc, combustibilidade, combustencia etc. (Frões, 1941, p.28)

Toda substância apresenta, além de propriedades gerais e funcionais, um conjunto de propriedades que lhe são peculiares e que constituem, por assim dizer, a sua *ficha de identidade*. (Costa, Pasquale, 1945, p.30)

Enfim, o leitor pode observar que a "ficha de identificação" de uma substância funciona como a "ficha de identificação" de uma pessoa, que é organizada pelo Serviço de Identificação da Polícia. (Feltre, Yoshinaga, 1968, p.87)

Não se discute em nenhum momento que a propriedade, qualquer que seja ela, é fruto de uma interação: não há cor sem luz, solubilidade sem solvente, temperatura de fusão ou de ebulição e densidade sem métodos de medida. Por outro lado, simplifica-se a identificação de uma substância, procurando caracterizá-la como uma atividade análoga a do senso comum identificando pessoas e objetos.

E no substancialismo do oculto temos a substância vista como um interior a ser desbravado, pois é neste interior que se encontra a justificativa para as propriedades que saltam aos olhos.

Ao observarmos o grande número de propriedades que a matéria apresenta, somos levados a indagar se existe algo no seu interior e

se é a isso que devemos as propriedades observadas. Infelizmente não se pode simplesmente "levantar a tampa" de cada porção de matéria e espiar o seu conteúdo diretamente. Alguns meios sumariamente engenhosos foram entretanto inventados para se ter a noção do que existe "no lado de dentro" sem uma inspeção direta. (Chemical Bond Approach Comitee, 1964-1967, p.10)

Se pudéssemos ver o interior de uma amostra qualquer da substância pura água, veríamos um aglomerado de moléculas, todas quimicamente iguais entre si. (Politi, 1986, p. 14)

E interessante como, no primeiro exemplo, o autor levanta a questão a respeito da origem das propriedades das substâncias, mas não reluta em supor um interior para as mesmas. Trata-se de uma caixa enigmática e o sonho do Homem é poder abri-la, devassá-la. Há um interior, "um lado de dentro", mágico, promissor. Pobres de nós, seres limitados, aos quais não foi dado o direito divino de abrir a caixa... Porque, afinal, e isso os dois exemplos deixam bem explícito, se pudéssemos ver, poderíamos saber tudo quanto há para saber. Nossos meios são engenhosos, mas podem nos dar *apenas* certa noção do que existe. Nossos olhos, sim, se a eles fosse facultada a possibilidade de ver o infinitamente pequeno, nos permitiriam reconhecer que todas as moléculas de água são quimicamente iguais.

Não percebe esse homem, que quer ver como um deus, o quanto se diferenciam o que vemos e o que sabemos. Moléculas quimicamente iguais não podem ser reconhecidas pelos olhos, mas conhecidas pela razão associada à técnica. E certamente nossos métodos nos permitem maiores conhecimentos do que nos permitiriam superolhos, pois, no primeiro caso, o que há para saber se multiplica no próprio ato de conhecer, fruto da construção efetiva, enquanto no segundo caso seríamos meros contempladores anotando dados desconexos.

Obstáculos substancialistas na Teoria Ácido-Base

Um dos assuntos onde os obstáculos substancialistas mais proliferam é a teoria ácido-base ou, como se referem os livros didáticos, o desenvolvimento das funções inorgânicas. Existe grande homogeneidade no tratamento desse assunto no decorrer dos anos, de forma que os erros se repetem sem maiores variações.

A presença do substancialismo se expressa na racionalização mal feita, capaz de considerar as propriedades ácidas e básicas como intrínsecas ao próton (H^+) e à hidroxila (OH) encerrados na molécula ou no agregado iônico.

Apesar de a Teoria Ácido-Base de Bronsted-Löwry⁸ ser de 1923, fazendo perder sentido as tradicionais funções inorgânicas, os livros didáticos mantêm até hoje o mesmo tratamento para o tema. Apresentam as funções ácido, base, óxido e sal, e ainda as subdividem em óxidos ácidos, óxidos básicos, óxidos neutros, sais ácidos, sais básicos, sais neutros, sem contar os anfóteros, duplos etc. Nesse tema, não há distinção no tratamento conferido em livros mais antigos e atuais.

Mas enquanto no caso dos óxidos a classificação não se choca com a de Bronsted-Löwry, o mesmo não se dá no caso dos sais. A partir da perspectiva substancialista, o sal neutro é apresentado como aquele obtido a partir da reação entre uma base forte e um ácido forte, com conseqüente neutralização total, definida como inexistência de H ou OH residual na substância. Já o sal ácido será obtido quando ainda restar H ionizável no sal, coerentemente com o princípio de que a propriedade ácida é inerente ao H. Nesse caso, $NaHSO_4$ é considerado ácido. Realmente o é, mas suas propriedades são devidas à interação do íon HSO_4^- com a água, e não devido à permanência do H, ou à acidez rema-

* Pela Teoria Ácido-Base de Bronsted-Löwry, ácido é toda espécie capaz de doar o próton (H^+) e base é toda espécie capaz de receber o próton (H^+). Trata-se de uma teoria muito mais abrangente, que define a função com base na forma de reagir e se aplica a todas as substâncias indistintamente. Por essa teoria, nenhuma substância é, *a priori*, ácida ou básica. Temos que analisar como as espécies reagem no meio em que estão, como se dá a interação entre as espécies,

nescente do H_2SO_4 . Trata-se de um íon anfiprótico⁹, cujo equilíbrio ácido possui maior extensão do que o equilíbrio básico ($K_a > K_b$).

Entretanto, o mesmo não se dá com os íons HS^- , HCO_3^- , HPO_4^{2-} , rompendo com o modelo substancialista. Todos esses íons são geradores de soluções básicas, devido às respectivas constantes de equilíbrio básico serem maiores que as respectivas constantes de equilíbrio ácido. Soluções aquosas desses íons são capazes de produzir reações tipicamente de bases e nem mesmo essa prova empírica promove mudanças nas classificações dos livros didáticos. Ou seja, o empirismo não é racionalizado, não constitui conhecimento científico.

O problema é agravado pelo fato de que nem todos os chamados sais neutros assim o são. NH_4Cl , FeCl_3 , e CuSO_4 , considerados como sais neutros pelos livros didáticos, são alguns exemplos de sais ácidos, ainda que os dois últimos sequer possuam hidrogênio na sua estrutura. Problemas análogos encontramos no tratamento dos sais básicos.

Diante desses impasses, os autores optam por introduzir nova classificação para os sais, agora segundo o tipo de reação hidrolítica que apresentam, estabelecendo a existência dos sais neutros de reação ácida, dos sais neutros de reação básica, dos sais neutros de reação neutra e assim sucessivamente, produzindo equívocos ainda maiores. De que vale uma função se ela não define a forma de reação de uma espécie? Por que não classificar diretamente em função da forma de reagir? Por que para isso é preciso romper com o substancialismo que determina a necessidade de ver a substância como uma caixa, estorjo promissor que guarda o atributo substancial da propriedade evidente.

Melhor seria se o ensino das funções químicas fosse feito utilizando-se uma teoria mais abrangente como é a Teoria Acido-Base de Bronsted-Lowry. Principalmente porque com essa teoria poderíamos de-

⁹ Espécie anfiprótica é aquela que é capaz de interagir com água como ácido e como base, ou seja, doando próton ou recebendo próton.

envolver no aluno a noção da propriedade como fruto de uma relação: uma espécie pode ser ácida ou básica dependendo do meio em que atue, da espécie com que reage.

Considerações Finais

As discussões apresentadas nos apontam para a irracionalidade da química transmitida por nossos Livros didáticos e para o distanciamento que possuem das novas concepções de ciência do século XX. Não estamos defendendo o ensino, no nível de 2^o grau, de conceitos altamente abstratos da Química mais avançada, mas levantamos a questão da necessidade de psicanalisarmos, no dizer de Bachelard, o conhecimento objetivo ensinado. Desconstruir os obstáculos epistemológicos incrustados nesse conhecimento e retirar as imagens subjetivas que permeiam os conceitos científicos. Ou seja, ensinar a Química com uma racionalidade toda nova, dinâmica e atual.

Nesse ponto, a atenção para com a linguagem é fundamental, pois tanto ela pode ser instrumento para a discussão racional de conceitos altamente matematizados, como pode veicular metáforas realistas, pretensamente didáticas, que obstaculizam o conhecimento científico. O descaso para com as rupturas existentes na linguagem científica apenas tende a reter o aluno no conhecimento comum, e fazê-lo desconsiderar que a ciência sofre constantes mudanças e retifica seus erros.

O que percebemos, no caso de nossos livros didáticos, é que a linguagem não tem sido apresentada de forma científica, não se vincula à racionalidade da ciência do século XX, o que só torna a literatura didática mais distante do dinamismo da ciência. Valoriza-se apenas a tradição e a memória.

O substancialismo, por sua vez, historicamente se apresenta como traço marcante da Química, sendo, de certa forma, reflexo da própria comunidade científica, a qual deve, como um todo, trabalhar pela

desconstrução de seus pressupostos, que certamente impedem a compreensão do novo espírito científico.

Sem dúvida, não será mantendo o aluno preso ao conhecimento aparente do cotidiano, ao realismo das primeiras interpretações, que poderemos ensinar ciência. E preciso cumprir o duplo e desafiador trabalho de valorizar os conhecimentos prévios do aluno, ao mesmo tempo que questioná-lo, desconstruindo os obstáculos epistemológicos que impedem o aprendizado.

Como abordamos em Lopes (1992b), o estudo da História da Química tem um papel fundamental nesse processo de superação dos obstáculos epistemológicos, a partir do estudo não dos resultados científicos, mas dos problemas científicos.

E certamente Bachelard nos oferece uma discussão epistemológica capaz de questionar os dogmatismos cristalizados no conhecimento científico, permitindo retirar da Química a marca de saber insípido que essa ciência adquiriu nos bancos escolares.

Referências bibliográficas

AMADO, G. *Química*. Porto Alegre: Globo, 1939.

AMARAL, Pecegueiro do. *Compêndio de Química Geral*. Rio de Janeiro: [s.n.], 1933.

_____. *Compêndio de Química Geral e Mineral*. Rio de Janeiro: [s.n.], 1936.

BACHELARD, G. *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: J. Vrin, 1947.

_____. *L'engagement rationaliste*. Paris: Presses Universitaires de France, 1972a.

_____. *Le matérialisme rationnel*. Paris: Presses Universitaires de France, 1972b.

- _____. *Le pluralisme cohérent de la chimie moderne*. Paris: J. Vrin, 1973.
- _____. *Le rationalisme appliqué*. Paris: Presses Universitaires de France, 1975.
- _____. *La philosophie du non*. Paris: Presses Universitaires de France, 1983.
- BRANDÃO, A.S. *Química*. São Paulo: Melhoramentos, [19--].
- CARVALHO, G.C. *Química moderna*. São Paulo: Nobel, 1978.
- CHEMICAL BOND APPROACH COMMITTEE. *Química*. Brasília: Universidade de Brasília, 1964-1967. 2v.
- COSTA, C, PASQUALE, C. *Química*. São Paulo: Ed. do Brasil, 1945.
- ELKANA, Y. Science, philosophy of science and science teaching. *Education, philosophy and theory*. [London]: Pergamon Press, 1970. v.2.
- FELTRE, R., YOSHINAGA, S. *Físico-química*. São Paulo: Moderna, 1968.
- FREITAG, B., MOTTA, V., COSTA, W. *O estado da arte do livro didático no Brasil*. Brasília: INEP, 1987.
- FRÓES, A. *Química*. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1935.
- _____. *Química*. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1940.
- LECOURT, D. *Para uma crítica da epistemologia*. Lisboa: Assírio Alvim, 1980.
- LEMBO, A., SARDELLA, A. *Química*. São Paulo: Ática, 1978.
- LOPES, A.R.C. *Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química*. Rio de Janeiro, 1990. 289p. Dissertação (Mestrado em Edu-

cação) — Instituto de Estudos Avançados em Educação, Fundação Getúlio Vargas.

_____. Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química — I: obstáculos animistas e realistas. *Química Nova*, São Paulo, v.15, n.3, p.254-261, 1992a.

. *O currículo e a construção do conhecimento na escola: controvérsias entre conhecimento comum e conhecimento científico no ensino de ciências físicas*. Caxambu, 1992b. 18p. Apresentado na 15ª Reunião Anual da ANPED, 1992.

METCALFE, H.C., WILLIAMS, J.E., CASTKA, J., MELLO, L.S. *Química moderna*. Rio de Janeiro: Renes, 1971. v.2.

MORTIMER, E.F. *O ensino de estrutura atômica e de ligação química na escola de 2º grau: drama, tragédia ou comédia?* Belo Horizonte, 1988. 397p. Dissertação (Mestrado em Educação) — Universidade Federal de Minas Gerais.

OLIVEIRA, R.J. *Ensino: o elo mais fraco da cadeia científica*. Rio de Janeiro, 1990. 241p. Dissertação (Mestrado em Educação) — Instituto de Estudos Avançados em Educação, Fundação Getúlio Vargas.

PARENTE, L.T. de S. Epistemologia química. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 4, 1988. *Resumos*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 1988.

_____. *Bachelard e a química: no ensino e na pesquisa*. Fortaleza: Ed. da Universidade Federal do Ceará: Stylus, 1990.

POLITI, E. *Química: curso completo*. São Paulo: Moderna, 1986.

RHEINBOLDT, H. A obra de Jöns Jacob Berzelius. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.36, n.11, p.1974-2031, nov. 1984.

SCHNETZLER, R.P. *O tratamento do conhecimento químico em livros didáticos brasileiros para o ensino secundário de Química de 1875 a 1978*. Campinas, 1980. 138p. Dissertação (Mestrado em Educação) — Faculdade de Educação, UNICAMP.

UNICAMP. Biblioteca Central. Serviço de Informação sobre o Livro Didático. *O que sabemos sobre o livro didático: catálogo analítico*. Campinas: Ed. da UNICAMP, 1989.

Recebido em 4 de janeiro de 1994.

Alice Ribeiro Casimiro Lopes, mestre em Educação pelo IESAE, da Fundação Getúlio Vargas/RJ, é doutoranda na Faculdade de Educação da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e professora da Escola Técnica Federal de Química do Rio de Janeiro.

We aimed analyse from the epistemological-historical point of view, the teaching of Chemistry in Brazil, so we selected 107 didactic books used at high school from period of 1931 to 1990. Gaston Bachelard's epistemology was the theoretical reference for detaching the category of the epistemological obstacle, known as one of the inherent hindrances for the scientific knowledge itself, blocking the comprehension and the development of science. Among the different kinds of obstacles we detached verbalism and subalternism.

Afin d'analyser, du point de vue épistémologique et historique, l'enseignement de la chimie au Brésil, ont été sélectionnés 107 livres didactiques, adonnés dans les trois années du deuxième cycle, pendant la période de 1931 à 1990. Le référentiel théorique était l'épistémologie de Gaston Bachelard, surtout la catégorie d'obstacle épistémologique,

enlendu comme les barrières propres à la connaissance scientifique, que bloquent la compréhension et le développement de la science. Dans cet article nous avons traité, parmi les différents types d'obstacles: le substantialisme et le verbalisme.

Este artículo analiza —del punto de vista epistemológico y histórico— la enseñanza de Química en Brasil, con base en 107 libros didácticos utilizados en la escuela de nivel médio brasilena, en el período de 1931 a 1990. La epistemología de Gaston Bachelard fue utilizada como fundamento teórico, con destaque para la categoría de obstáculo epistemológico, considerado como un entorpecimiento propio del conocimiento científico, estancando la comprensión y el desarrollo de la ciência. Entre los diversos tipos de obstáculos epistemológicos, discutiremos el verbalismo y el sustancialismo.