

O papel da



Experimentação no ensino de ciências

Marcelo Giordan

A presente seção inclui estudos e investigações sobre problemas no ensino de química, com explicitação dos fundamentos teóricos e procedimentos metodológicos adotados na análise de resultado. Este artigo discute o papel da experimentação na construção do conhecimento científico e sua relevância no processo de ensino-aprendizagem, pautando-se em contribuições filosóficas, epistemológicas e psicológicas.

► conhecimento científico, ensino de ciências, experimentação, simulação ◀

*...entendo que nossa linguagem ordinária está repleta de teorias; que a observação sempre é observação à luz das teorias, e que é somente o prejuízo indutivista que leva as pessoas a pensar que poderia existir uma linguagem fenomênica, livre das teorias e diferente de uma 'linguagem teórica'... (K.R. Popper, em *Lógica da investigação científica*, p. 61, nota adicionada em 1968.)*

É de conhecimento dos professores de ciências o fato de a experimentação despertar um forte interesse entre alunos de diversos níveis de escolarização. Em seus depoimentos, os alunos também costumam atribuir à experimentação um caráter motivador, lúdico, essencialmente vinculado aos sentidos. Por outro lado, não é incomum ouvir de professores a afirmativa de que a experimentação aumenta a capacidade de aprendizado, pois funciona como meio de envolver o aluno nos temas em pauta.

Nossa proposta aqui é discutir o papel da experimentação nos processos de elaboração do pensamento científico, elevando-a à categoria de processo de natureza social, técnica e cognitiva. Queremos identificar as características mais fundamentais do

pensamento científico, apoiando-nos nos estudos de alguns filósofos da ciência, sem a pretensão de defender uma idéia de evolução para a experimentação e seu posicionamento dentro

Aliada à lógica — numa dimensão teórica —, a observação natural sustentou na sua base empírica a metafísica no exercício de compreensão da natureza

das ciências naturais ou humanas, mas apenas apontar os principais apoios da teoria do conhecimento que sustentam essa discussão. Por fim, discutimos as implicações da teoria de modelos mentais para a experimentação e sua relevância para o ensino de ciências, utilizando o conceito de simulação.

Primórdios do racionalismo: a observação natural

Há mais de 2 300 anos, Aristóteles defendia a experiência quando afirmava que “quem possua a noção sem a

experiência, e conheça o universal ignorando o particular nele contido, enganar-se-á muitas vezes no tratamento” (Aristóteles, 1979). Naquele tempo, já se reconhecia o caráter particular da experiência, sua natureza factual como elemento imprescindível para se atingir um conhecimento universal. Ter a noção sem a experiência resgata, em certa medida, a temática de se discutir as causas sem se tomar contato com os fenômenos empíricos, o que significa ignorar o particular e correr o risco de formular explicações equivocadas.

O pensamento aristotélico marcou presença por toda a Idade Média entre aqueles que se propunham exercitar o entendimento sobre os fenômenos da natureza. Esse exercício desenvolvia-se principalmente num plano além da concretude do mundo físico, estabelecido como estava na lógica, um poderoso instrumento de pensamento já conhecido dos gregos. O acesso ao plano dos fenômenos ocorria através dos sentidos elementares do ser humano, que orientavam seu pensamento por meio de uma relação natural com o fenômeno particular. Na ausência de instrumentos inanimados de medição, a observação — numa dimensão empírica — era o principal mediador entre o sujeito e o fenômeno. Aliada à lógica — numa dimensão teórica —, a observação natural sustentou na sua base empírica a metafísica no exercício de compreensão da natureza.

Passados 23 séculos e guardadas as particularidades do contexto a que se aplica a fala de Aristóteles, notamos que muitas propostas de ensino de ciências ainda desafiam a contribuição dos empiristas para a elaboração do conhecimento, ignorando a experimentação ainda como uma espécie de

observação natural, como um dos eixos estruturadores das práticas escolares. A elaboração do conhecimento científico apresenta-se dependente de uma abordagem experimental, não tanto pelos temas de seu objeto de estudo, os fenômenos naturais, mas fundamentalmente porque a organização desse conhecimento ocorre preferencialmente nos entremeios da investigação. Tomar a experimentação como parte de um processo pleno de investigação é uma necessidade, reconhecida entre aqueles que pensam e fazem o ensino de ciências, pois a formação do pensamento e das atitudes do sujeito deve se dar preferencialmente nos entremeios de atividades investigativas.

Contribuições positivistas: a experimentação como um fim em si mesma

A experimentação ocupou um papel essencial na consolidação das ciências naturais a partir do século XVII, na medida em que as leis formuladas deveriam passar pelo crivo das situações empíricas propostas, dentro de uma lógica seqüencial de formulação de hipóteses e verificação de consistência. Ocorreu naquele período uma ruptura com as práticas de investigação vigentes, que consideravam ainda uma estreita relação da natureza e do homem com o divino, e que estavam fortemente impregnadas pelo senso comum. A experimentação ocupou um lugar privilegiado na proposição de uma metodologia científica, que se pautava pela racionalização de procedimentos, tendo assimilado formas de pensamento características, como a indução e a dedução.

Estabelecido um problema, o cientista ocupa-se em efetuar alguns experimentos que o levem a fazer observações cuidadosas, coletar dados, registrá-los e divulgá-los entre outros membros de sua comunidade, numa tentativa de refinar as explicações para os fenômenos subjacentes ao problema em estudo. O

acúmulo de observações e dados, ambos derivados do estágio de experimentação, permite a formulação de enunciados mais genéricos que podem adquirir a força de leis ou teorias, dependendo do grau de abrangência do problema em estudo e do número de experimentos concordantes. Esse processo de formular enunciados gerais à custa de observações e coleta de dados sobre o particular, contextualizado no experimento, é conhecido como indução. O método descrito por Francis Bacon fundamenta a chamada ciência indutivista, que em suas palavras se resume a:

Só há e só pode haver duas vias para a investigação e para a descoberta da verdade. Uma que consiste em saltar das sensações e das coisas particulares aos axiomas mais gerais e, a seguir, em se descobrirem os axiomas intermediários a partir desses princípios e de sua inamovível verdade. E outra, que recolhe os axiomas dos dados dos sentidos e particulares, ascendendo contínua e gradualmente até alcançar, em último lugar, os princípios de máxima generalidade. Esse é o verdadeiro caminho, porém ainda não instaurado. (BACON, 1989, p. 16.)

Um exemplo simples de aplicação do método indutivo em situações de ensino pode ser analisado numa atividade de laboratório na qual se pede para vários alunos registrarem independentemente a temperatura de ebulição da água. Supondo que esses alunos façam seus experimentos numa

O acúmulo de observações e dados, ambos derivados do estágio de experimentação, permite a formulação de enunciados mais genéricos que podem adquirir a força de leis ou teorias

cidade litorânea e que todos eles tenham registrado a temperatura de ebulição em 100 °C, pode-se levá-los à conclusão, pelo método indutivo baseado no acúmulo de evidências experimentais, que a temperatura de ebulição da água é 100 °C. No pensamento indutivista, não há lugar para a contradição, ou seja, as evidências empíricas devem todas concordar

com os enunciados genéricos.

Ainda preocupado em formular uma metodologia científica precisa, René Descartes impôs à experimentação um novo papel, diverso do proposto por seu contemporâneo Bacon. Descartes considerava que o processo dedutivo —reconhecer a influência causal de pelo menos um enunciado geral sobre um evento particular — ganharia mais força na medida em que o percurso entre o enunciado geral e o evento particular fosse preenchido por eventos experimentais:

Percebi (...), no que concerne às experiências, que estas são tanto mais necessárias quanto mais adiantado se está em conhecimentos. (...) Primeiramente, tentei descobrir, em geral, os princípios ou causas primitivas de tudo o que é ou que pode ser no mundo. (...) Depois, examinei quais eram os primeiros e mais comuns efeitos que podiam ser deduzidos de tais causas. (...) Após isso, quis descer às mais particulares.

Desse trecho retirado da sexta parte — “Que coisas são requeridas para avançar na pesquisa da natureza” — do livro *Discurso do método*, percebe-se que há uma inversão na proposta de Descartes (1980) para o fazer ciência, comparando-se com aquela feita por Bacon, pois não é mais o acúmulo de evidências particulares que fortalece o enunciado geral, a lei, a teoria.

Partindo-se de um enunciado geral, como “a temperatura de ebulição dos líquidos é função da pressão ambiente” e tendo como fato que ao nível do mar a água ferve a 100 °C e numa certa cidade serrana a 96,5 °C, podemos formular a hipótese de que a temperatura de ebulição da água em uma panela de pressão será maior que 100 °C. Como o enunciado apela para a variação da temperatura em função da pressão e os dados revelam que essa taxa é positiva (maior pressão, maior temperatura), deduzimos que em um sistema semi-aberto como a panela de pressão a pressão ambiente será maior e, portanto, também será maior a temperatura de ebulição. Qual é o papel da experimentação aqui? Confirmar

nossa hipótese, uma espécie de carimbo atestando a força do enunciado geral.

Cumprido destacar a característica de controle que a experimentação passa a exercer com a transformação do pensamento científico. Esse controle, exercido sobre as variáveis inerentes ao fenômeno em estudo, subsidia a prática empírica de adotar a precisão da medida da variável como critério mais adequado de julgamento do fenômeno, que durante o advento da fase racionalista da ciência passa a ocupar o lugar da prática aristotélica de privilegiar os sentidos na abordagem do fenômeno. O empírico avança para a compreensão do fenômeno à medida que abstrai os sentidos e se apóia em medidas instrumentais mais precisas, passíveis de reprodução extemporânea. O ataque à filosofia aristotélica no século XVII é completado por Galileu, que atribui à experimentação um papel central no fazer ciência, o de legitimadora¹.

Esses três pensadores são considerados fundadores da ciência moderna, fundamentalmente por terem combatido o pensamento aristotélico, no qual a experiência tinha base na observação natural, mas também por terem contribuído para a estruturação do que ficou conhecido como método científico, pelo qual a experiência é planejada com base num estratagema racional. Suas idéias fundamentais foram retomadas por Augusto Comte (1983, p.8) em seu *Curso de filosofia positiva*:

“...indicarei a data do grande movimento impresso ao espírito humano (...), pela ação combinada dos preceitos de Bacon, das concepções de Descartes e das descobertas de Galileu, como o momento em que o espírito da filosofia positiva começou a pronunciar-se no mundo.”

As idéias positivistas influenciaram e ainda influenciam práticas pedagógicas na área de ensino de ciências, sustentadas pela aplicação do método científico. Saber selecionar e hierarquizar variáveis segundo critérios de pertinência para a compreensão dos

fenômenos, controlar e prever seus efeitos sobre os eventos experimentais, encadear logicamente seqüências de dados extraídos de experimentos são consideradas, na visão positivista, competências de extremo valor para a educação científica do aluno. A experimentação exerce a função não só de instrumento para o desenvolvimento dessas competências, mas também de veículo legitimador do conhecimento científico, na medida em que os dados extraídos dos experimentos constituíam a palavra final sobre o entendimento do fenômeno em causa. Parece ter sido o desenvolvimento dessas competências o principal objetivo da experimentação no ensino de ciências, e de química em particular, até o final da década de 60, quando os programas de educação científica recebiam uma forte influência do pensamento lógico-positivista e comportamentalista. Tratava-se de aplicar as etapas supostas do método científico nas salas de aula, confiando que a aprendizagem ocorreria pela transmissão dessas etapas ao aluno, que indutivamente assimilaria o conhecimento subjacente.

À parte a polêmica sobre o processo de evolução do pensamento científico, podemos identificar, ainda no pensamento de Comte, os prejuízos que a transposição cega, irrefletida, do método científico e o papel atribuído à experimentação nesse tratamento reservam às práticas da educação científica. Comte, ao desprezar a teologia e a metafísica, refuta o exercício da busca das causas geradoras dos fenômenos, por acreditar que somente a experimentação pode oferecer a medida de força para as explicações positivas. Priorizando analisar com exatidão as circunstâncias da produção de explicações positivas, Comte adota o rigor empírico como fundamento da prática científica e propõe vincular essas explicações, mediante relações normais de sucessão e similitude (Comte, 1983, p. 7). Para os afeitos à cotidianidade da ciência

normal, tal proposta pode ser defendível, principalmente porque se sustentam no pragmatismo ingênuo dos acertos e desprezam o erro como estágio inerente do fazer ciência. Para a educação científica, a tese positivista carece de fundamentação científica, por desconsiderar que para o aprendiz a ciência é uma representação do mundo, entre outras tantas, que se revelam de maneira espontânea ou dirigida por uma práxis cultural distinta daquela legitimada pela comunidade científica².

A partir da década de 60, os programas de educação científica passaram a ser influenciados por uma cultura de pesquisa nessa área (Schnetzler e Aragão, 1995; Krasilchik, 1987), recebendo influência da psicologia cognitiva e da epistemologia estruturalista, entre outras áreas do conhecimento. As atividades de ensino deixaram de ser encaradas como

transposições diretas do trabalho de cientistas e o desenvolvimento cognitivo do ser humano foi tomado como um parâmetro essencial para a proposição de estratégias de ensino. Nesses termos, os estágios de evolução do pensamen-

to e as idéias prévias do indivíduo arquitetadas num ambiente sociocultural e histórico foram tomados como elementos fundamentadores da aprendizagem (Mortimer e Carvalho, 1996). A linearidade do método científico de matriz lógico-positivista foi desafiada e assim os elementos organizadores do método foram reavaliados e seus lugares redefinidos.

Tendo por base a influência dos programas de pesquisa da educação em ciências desenvolvidos a partir da década de 60, passaremos a analisar o papel que cabe à experimentação no ensino de ciências na escola básica.

Dimensões psicológica e sociológica da experimentação

Em seu livro *Formação do espírito científico*, Gaston Bachelard aponta os

O empírico avança para a compreensão do fenômeno à medida que abstrai os sentidos e se apóia em medidas instrumentais mais precisas, passíveis de reprodução extemporânea

obstáculos que se apresentam ao sujeito (o autor fala do espírito) quando em contato com o conhecimento científico, seja por meio de fenômenos, seja no exercício da compreensão. Ao propor que a primeira experiência *exigente* é a experiência que 'falha' (itálico e aspas do autor), Bachelard destaca o papel do erro no progresso da ciência, tanto por se exigir um processo de freagem do estímulo, o que acalmaria os impulsos do sensível, como também por impulsionar o cientista à precisão discursiva e social, subsidiando o desenvolvimento de técnicas e teorias (Bachelard, 1996, p. 295-297).

Uma experiência imune a falhas mimetiza a adesão do pensamento do sujeito sensibilizado ao que supõe ser a causa explicativa do fenômeno, em lugar de promover uma reflexão racionalizada

Uma experiência imune a falhas mimetiza a adesão do pensamento do sujeito sensibilizado ao que supõe ser a causa explicativa do fenômeno, em lugar de promover uma reflexão racionalizada. O erro em um experimento planta o inesperado em vista de uma trama explicativa fortemente arraigada no bem-estar assentado na previsibilidade, abrindo oportunidades para o desequilíbrio afetivo frente ao novo. Rompe-se com a linearidade da sucessão "fenômeno corretamente observado/medido \Rightarrow interpretação inequívoca", verdadeiro obstrutor do pensamento reflexivo e incentivador das explicações imediatas. A chamada psicanálise do erro visa dosar o grau de satisfação íntima do sujeito, substrato indispensável para manter o aluno engajado em processos investigativos. Numa dimensão psicológica, a experimentação, quando aberta às possibilidades de erro e acerto, mantém o aluno comprometido com sua aprendizagem, pois ele a reconhece como estratégia para resolução de uma problemática da qual ele toma parte diretamente, formulando-a inclusive.

O segundo argumento de Bachelard em favor do 'experimento exigente' é igualmente aplicável às situações de aprendizagem: a busca de uma precisão discursiva e social. Poderíamos nos ater às questões dos instrumentos de observação/medição do fenômeno,

mas estaríamos nesse caso fadados a permanecer em discussões tecnicistas sobre a medida experimental. Importa, neste momento, desvelar a noção de representação do conhecimento para os processos de aprendizagem. Em primeiro plano, sendo a ciência uma construção humana, deve-se reconhecer que no fazer ciência se desenvolve um processo de representação da realidade em que predominam acordos simbólicos e lingüísticos num exercício continuado de discursos mentais, íntimos ao sujeito, e discursos sociais, propriedade do coletivo. A falha do experimento alimenta esse

exercício, por mobilizar os esforços do grupo no sentido de corrigir as observações/medições; por desencadear uma sucessão de diálogos de natureza conflituosa entre o sujeito e o outro e com seus modelos mentais, e por colocar em dúvida a veracidade do modelo representativo da realidade. A decorrência possível desse movimento é um novo acordo para se ter acesso e para representar o fenômeno, que altera o quadro dialógico do sujeito com a realidade.

O que se busca com o 'experimento exigente', e aqui o professor ocupa lugar estratégico, é um acordo na direção do que é cientificamente aceito e portanto dialogável com a comunidade científica. Esse exercício social de precisão discursiva não foi priorizado pelas propostas de ensino de ciências quando se tentou aplicar o método da redescoberta, acreditando-se que o acesso ao fenômeno e a seus instrumentos de observação/medição cumpriria os objetivos do ensino, meramente reprodutórios da 'realidade positiva'. Ao se incentivar os alunos a expor suas idéias acerca do fenômeno, que estão no plano da subjetividade, desenca-

deia-se um processo pautado na intersubjetividade do coletivo, cujo aprimoramento fundamenta o conhecimento objetivo. O processo de objetivação do conhecimento, por ser uma necessidade social, deve ser um eixo central da prática educativa e aqui a experimentação desempenha um papel de fórum para o desenvolvimento dessa prática.

Mais recentemente, o tema aprendizagem colaborativa vem sendo amplamente debatido na literatura de ensino de ciências (Nurrenbern e Robison, 1997), a partir do que podemos depreender que é necessário criar oportunidades não somente para a realização de experimentos em equipe, mas também para a colaboração entre equipes. A formação de um espírito colaborativo de equipe pressupõe uma contextualização socialmente significativa para a aprendizagem, do ponto de vista tanto da problematização (temas socialmente relevantes) como da organização do conhecimento científico (temas epistemologicamente significativos). Novamente, ao professor é atribuído o papel de líder e organizador do coletivo, arbitrando os conflitos naturalmente decorrentes da aproximação entre as problematizações socialmente relevantes e os conteúdos do currículo de ciências. Estratégias negociadas em torno de temáticas

ambientais podem vir a contentar ambas as colunas reivindicatórias, que atuam tanto em sala de aula, como nos bancos acadêmicos.

Apresentamos como exemplo o estudo da energética das transformações químicas. Ao se desencadear a problematização dos combustíveis como fonte importante de energia para a humanidade, tem-se a oportunidade de examinar experimentalmente desde os derivados do petróleo até os combustíveis obtidos da biomassa, passando por aqueles reciclados, como o *biodiesel*, obtido pela transesterificação de óleos usados em cozinhas industriais. Para que substâncias tão diversas

O que se busca com o 'experimento exigente', e aqui o professor ocupa lugar estratégico, é um acordo na direção do que é cientificamente aceito e portanto dialogável com a comunidade científica

Para que substâncias tão diversas

sejam objetivamente comparadas, torna-se necessário estabelecer um protocolo básico de comunicação entre os grupos e mesmo entre dados/observações extraídos dos experimentos. O próprio planejamento dos experimentos deve guardar relações de similaridade, e desse acordo em torno da resolução de uma problemática socialmente relevante pode-se arquitetar o conceito de entalpia, que emerge em um contexto epistemologicamente significativo, pois a organização do conhecimento decorre de uma atitude cientificamente construída.

A experimentação por simulação

Tendo exposto as dimensões psicológica e sociológica da experimentação, sugerimos agora uma terceira dimensão, a cognitiva³, baseada na concepção de modelos mentais, conforme apresentada por Moreira (1996).

Os modelos mentais são como análogos estruturais da 'realidade' (o autor fala do mundo) que operam no plano mental do sujeito, portanto interno, e tentam estabelecer uma conexão entre o fenômeno com que se tem contato e sua representação. Na elaboração de um modelo mental, destacam-se dois componentes, os *elementos* e as *relações*, que representam um estado de coisas específico. Os modelos mentais servem de sistemas intermediários entre o mundo e sua representação, uma espécie de filme interno cujas cenas são formadas por imagens animadas e signos, cuja concatenação expressa o estado de coisas e dialoga com a representação que o sujeito confere à realidade.

A experimentação deve também cumprir a função de alimentadora desse processo de significação do mundo, quando se permite operá-la no plano da simulação da realidade. Nas situações de simulação, desencadeia-se um jogo entre os elementos e as relações, que devem manter correspondência com seus análogos no plano do fenômeno. É nesse palco de simulações que podem se formar ambientes estimuladores para a criação de modelos mentais pelo sujeito, que passa a reconhecer nos modelos ora simu-

lados a primeira instância de representação analógica da realidade. Nessas situações, o sujeito se percebe diante de uma representação da realidade, obrigando-se a formular a sua própria, que venha a se ajustar àquela em simulação. Trata-se portanto de determinar à experimentação o novo papel de estruturadora de uma realidade simulada, etapa intermediária entre o fenômeno, que também é acessado pelo prisma da experimentação, e a representação que o sujeito lhe confere.

Um exemplo prático pode traduzir com mais propriedade essas idéias. Em estudo sobre as concepções atomísticas de alunos, realizaram-se experimentos envolvendo o aquecimento de um tubo de ensaio fechado por uma bexiga de borracha, conforme descrito no primeiro número de *Química Nova na Escola* (Mortimer, 1995). Solicitou-se aos alunos que formulassem explicações sobre o comportamento do sistema, quando o tubo de ensaio era aquecido. O modelo explicativo de um grupo de alunos levava em conta uma relação direta entre a expansão do volume das partículas constituintes do ar e a expan-

são do volume da bexiga de borracha, sem que se acentuasse o aumento da velocidade dessas partículas (Figura 1). É de se ressaltar a capacidade dos alunos de criar modelos explicativos para o fenômeno em estudo, o que é sem dúvida uma competência impor-

ante a ser cultivada em situações de ensino envolvendo experimentação.

Numa proposta de continuação para esta atividade, pode-se sugerir a observação e manipulação de uma sistema fechado, no qual pequenas esferas rígidas (miçangas de plástico) possam se movimentar dentro de um cilindro cujo volume varie em função da posição

de um êmbolo móvel. Para promover o movimento das miçangas, utiliza-se uma membrana vibratória, cuja intensidade de vibração seja função da energia elétrica fornecida por diferentes quantidades de pilhas (Figura 2). Simula-se assim o sistema tubo de ensaio-bexiga sob aquecimento.

O modelo simulado estabelece uma série de correspondências com o sistema empírico original. No plano dos elementos formuladores do modelo destacam-se: as fontes de energia, as pilhas e a chama do bico de Bunsen; os volumes, os conjuntos tubo de ensaio/bexiga e cilindro/êmbolo móvel; as partículas, moléculas do ar e miçangas rígidas. No plano das relações intrínsecas ao modelo, a principal correspondência ocorre entre o aumento do volume do sistema cilindro/êmbolo móvel em função do aumento do número de pilhas com o aumento do volume da bexiga em função do tempo de aquecimento do sistema experimental original. De maneira mais aprofundada, simula-se a velocidade média das moléculas do ar, conceito central para o entendimento do fenômeno.

Um segundo exemplo bastante mais freqüente é a utilização de modelos de estrutura molecular do tipo bola-varetas, quando se propõe ensinar química orgânica por meio de um

Os modelos mentais servem de sistemas intermediários entre o mundo e sua representação, uma espécie de filme interno cujas cenas são formadas por imagens animadas e signos, cuja concatenação expressa o estado de coisas e dialoga com a representação que o sujeito confere à realidade

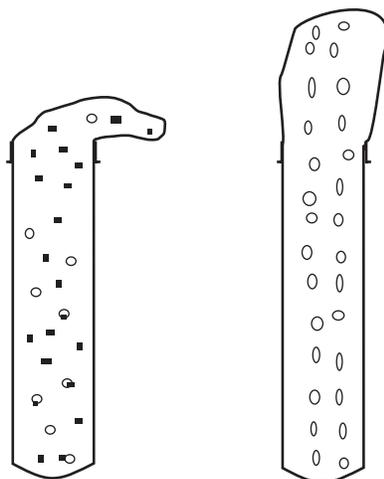


Figura 1: Representação feita por alunos do sistema tubo de ensaio/bexiga plástica, na ausência de e sob aquecimento.

Fonte: Mortimer, 1995.

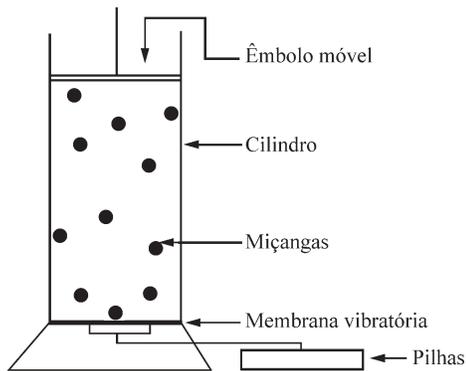


Figura 2: Esquema representativo do sistema de simulação miçanga/cilindro/êmbolo móvel.

ênfase estereoquímica. Nesse caso, torna-se bastante mais difícil confrontar o aluno com uma realidade concretamente observável, já que em nível molecular a ciência opera com modelos radicalmente abstratos. Não há como estabelecer correspondências diretas entre os modelos concretos de estrutura molecular e as propriedades moleculares tratadas na educação básica, o que não significa que tenhamos que abandonar prematuramente essa proposta e nos rendermos ao nomenclaturismo predominante nas estratégias de ensino dessa disciplina. Esta é exatamente a oportunidade de preparar o aluno para instalar-se no estágio que alguns têm insistido em chamar de nível formal de pensamento.

A manipulação de modelos bola-vareta desenvolve no aluno uma habilidade cognitiva muito importante para a compreensão dos fenômenos químicos na dimensão microscópica, que é a espacialidade das representações moleculares. Habitados a reconhecer as moléculas em representações de fórmulas moleculares, como CH_4 , raramente se cria oportunidade para o aluno ter percepção tridimensional do tetraedro (Figura 3a), figura geométrica que constitui a base para a representação das fórmulas estruturais das moléculas que contém átomos de carbono (Figura 3b). Trata-se portanto de conferir certa concretude à representação molecular necessária ao engajamento do indivíduo no processo de transição de um nível concreto para o nível formal de pensamento.

No entanto, ao permanecer na

representação tridimensional, corre-se o risco de estagnar sua capacidade de elaborar seus próprios modelos mentais. Deve-se subsidiar a transição do estágio de observação do modelo bola-vareta concomitante a sua fixação imagética na memória, para um estágio de apropriação desse modelo, no qual o aluno possa alterá-lo conforme a situação-problema que lhe é apresentada. Nessa fase de transição, pode-se operar com outra modalidade de simulação, capaz de incorporar outros modelos representativos das estruturas moleculares, a simulação computacional. Por meio dessa modalidade, o aluno poderá perceber que o conceito de cadeia carbônica pode vir a ser representado por uma opção 'esqueleto' (Figura 4a), na qual as ligações entre os átomos de carbono, e entre estes e

os de hidrogênio, estão representadas, ou ter a noção de preenchimento espacial, próximo ao conceito de nuvem eletrônica, por uma outra opção (Figura 4b), na qual as varetas não podem mais ser percebidas e as bolas passam a se sobrepor. Finalmente, a própria capacidade de rotação espacial do modelo de estrutura molecular, simulado na tela do computador, portanto na bidimensionalidade, confere uma interação inusitada com os modelos moleculares, animando-os de acordo com as idiossincrasias do modelo mental do sujeito, em estágio inicial de elaboração.

O papel da experimentação por simulação certamente não é o de substituir a experimentação fenomenológica proposta originalmente. Deve-se, em muitos casos, respeitar inclusive a ordem de exposição dos grupos aos experimentos: em primeiro lugar, o

Não há como estabelecer correspondências diretas entre os modelos concretos de estrutura molecular e as propriedades moleculares tratadas na educação básica; isso não significa que tenhamos que nos rendermos ao nomenclaturismo predominante nas estratégias de ensino dessa disciplina

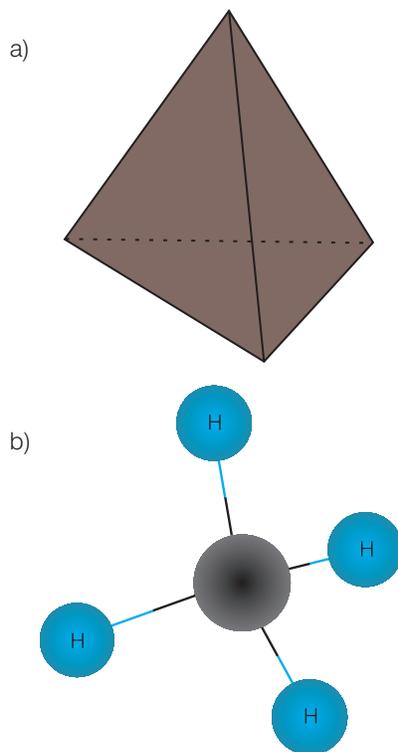


Figura 3: Representações do átomo de carbono. a) Figura geométrica do tetraedro. b) Modelo bola-vareta da molécula de metano.

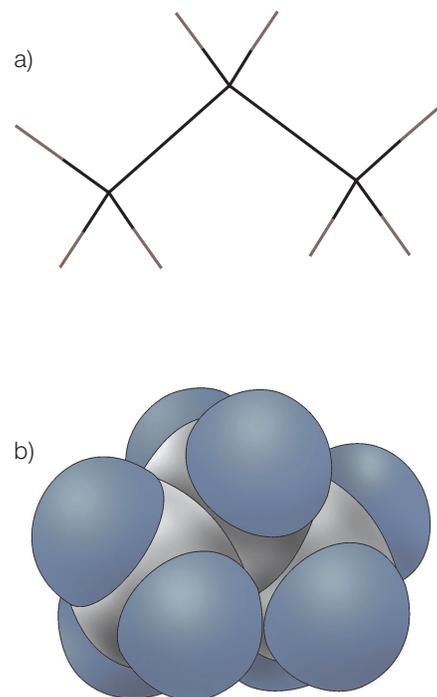


Figura 4: Representações de cadeias carbônicas da molécula de propano. a) Esqueleto. b) Espaço preenchido.

experimento com o sistema da Figura 1, depois o experimento de simulação (Figura 2). A simulação não pode tolher a necessária tarefa de criação de modelos mentais, já verificada na intervenção decorrente da experimentação 'por via úmida'; deve, sim, sustentar essa prática salutar com novas regras, mais próximas do processo de significação, inserindo um novo plano de mediação entre o sujeito e o objeto, o plano da realidade simulada ou o plano da representação dos modelos mentais.

Numa concepção idealista, a experimentação por simulação deve permitir ao sujeito cultivar sua imaginação em consonância com um conjunto de signos socialmente legitimados, transitando entre a crueza da realidade objetiva e as sombras da compreensão subjetivada. Nesse sentido, a experimentação por simulação deve permitir ao sujeito uma nova oportunidade para representação do mundo e de seus modelos mentais representativos, expondo-os ao olhar

A simulação deve ser incorporada às práticas educacionais como uma estratégia de sugerir realizações racionais, tomando parte de um projeto em que as condições experimentais são condições de experimentação

do outro. A simulação deve ser incorporada às práticas educacionais como uma estratégia de sugerir realizações racionais (Bachelard, 1934), fazendo parte de um projeto em que as condições experimentais sejam condições de experimentação nas quais o embriamento empiria-teoria seja permanentemente atendido.

Considerações finais

Este artigo visou traçar um quadro geral sobre a experimentação e seu *locus* no ensino de ciências, aproveitando algumas contribuições bastan-

te difundidas na área de filosofia da ciência. Procurou-se determinar as várias fases do pensamento científico, ressaltando a contribuição da experimentação na forma de um dispositivo sociotécnico inerente a esse pensamento. Parece-nos que a experimentação por simulação recupera uma importante discussão sobre a demarcação entre o empírico e o teórico, o que se torna essencial num momento em que as realidades passam a ser

reconhecidas como virtuais.

Acreditamos que as simulações computacionais podem ser orquestradamente articuladas com atividades de ensino, sendo portanto mais um instrumento de mediação entre o sujeito, seu mundo e o conhecimento científico. Para tanto, há que se experimentar e teorizar muito sobre a educação científica, com um olho no passado e outro no futuro, mas sobretudo com a consciência viva no presente.

Marcelo Giordan, bacharel em química e doutor em ciências pela Unicamp, é professor da Faculdade de Educação da USP. E-mail: giordan@fe.usp.br.

Notas

1. Para um aprofundamento nesse tema, ver Losee (1979), que discute a influência dos três pensadores na crítica ao aristotelismo.

2. Referimo-nos aqui à extensa pesquisa sobre concepções alternativas dos alunos acerca do conhecimento científico. Para uma discussão mais aprofundada desse tema ver Garnett e Hackling (1995).

3. Estamos nos referindo à área do conhecimento chamada de ciência cognitiva, cujos alicerces se fundam na lógica simbólica, na inteligência artificial e na neurociência.

Referências bibliográficas

ARISTÓTELES. *Metafísica*. São Paulo: Editora Abril, 1979. Livro A, cap. I. (Coleção Os Pensadores) Orig. do século IV a.C.

BACHELARD, G. *O novo espírito científico*. São Paulo: Editora Abril, 1974. (Coleção Os Pensadores) Orig. de 1934.

BACHELARD, G. *Formação do espírito científico*. Contraponto: Rio de Janeiro, 1996. Orig. de 1937.

BACON, F. *Novum organum*. Aforismo XIX. São Paulo: Editora Abril, 1988. (Coleção Os Pensadores) Orig. de 1620.

COMTE, A. *Curso de filosofia positiva*. São Paulo: Editora Abril, 1983. (Coleção Os Pensadores) Orig. de 1842.

DESCARTES, R. *Discurso do método*. São Paulo: Editora Abril, 1987. v. 1. (Coleção Os Pensadores)

Orig. de 1637.

GARNETT, P.J. e HACKLING, M.W. Students' alternative conceptions in chemistry: a review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, n. 25, p. 69-95, 1995.

KRASILCHIK, M. *O professor e o currículo das ciências*. São Paulo, EPU/Edusp, 1987.

LOSEE, J. *Introdução histórica à filosofia da ciência*. Belo Horizonte: Itatiaia, 1979.

MOREIRA, M.A. Modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 1, n. 1. URL: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/Moreira.htm>.

MORTIMER, E.F. Concepções atomistas dos estudantes. *Química Nova na Escola*, n. 1, p. 23-26, 1995.

MORTIMER, E.F. e CARVALHO, A.M.P. de. Referenciais teóricos para análise do processo de ensino de ciências. *Caderno de Pesquisas*, n. 96,

p. 5-14, 1996.

NURRENBERN, S.C. e ROBINSON, W.R. Cooperative learning: a bibliography. *Journal of Chemical Education*, v. 74, p. 623-624, 1997.

POPPER, K.R. *A lógica da pesquisa científica*. 9ª ed. São Paulo: Cultrix, 1993. Orig. de 1934.

SCHNETZLER, R.P. e ARAGÃO, R.M.R. Importância, sentido e contribuições de pesquisas para o ensino de química. *Química Nova na Escola*, n. 1, p. 27-31, 1995.

Para saber mais

LOSEE, J. *Introdução histórica à filosofia da ciência*. Belo Horizonte: Itatiaia, 1979.

CHALMERS, A.F. *O que é ciência afinal?* São Paulo: Brasiliense, 1997.

MORAES, A.C. *Filosofia: exercícios de leitura*. São Paulo: Deleitura, 1998.