

PIAGET PARA QUÍMICOS

Explicando o que “bons” estudantes não conseguem compreender.

J. Dudley Herron

Purdue University, EUA.

Journal of Chemical Education **52** (1975), 146 – 150.

(Tradução e adaptação, para estudo: Paulo A. Porto.)

É evidente para qualquer um que tenha ensinado química para ingressantes em cursos superiores que um número significativo de estudantes (particularmente os de cursos não diretamente relacionados às ciências exatas e da Natureza) encontra dificuldade quanto ao conteúdo, e em alguns casos o acham incompreensível. Infelizmente, o fato dos estudantes terem tais dificuldades é muito mais evidente que a causa dessas dificuldades. Este trabalho apresenta uma hipótese relativa à causa dessa dificuldade e sugere modificações em nossa abordagem para o ensino de química, que possam finalmente levar a uma melhor aprendizagem para vários estudantes.

A tese a ser desenvolvida é que as evidências disponíveis sugerem que um número substancial de ingressantes na Universidade – talvez 50 % em cursos não diretamente relacionados às ciências exatas e naturais – são incapazes de atuar em um nível intelectual descrito por Piaget como operacional formal. Entretanto, o conteúdo da química e a abordagem que normalmente é utilizada em seu ensino requerem que o estudante opere nesse nível operacional formal, como se ele compreendesse os conceitos que lhe são apresentados.

Antes de discutir o que vem a ser o pensamento operacional formal, deixe-me relatar alguns casos para ilustrar o tipo de dificuldade que, acredito, estão relacionadas com essa discussão.

O primeiro incidente que relatarei ocorreu durante uma discussão de uma experiência de eletrólise. A questão que eu coloquei foi: como se pode ter certeza de que os gases vieram da água e não do carbonato de sódio usado como eletrólito? Afinal, não houve produção de gás até que se adicionou o eletrólito; por que não supor que o eletrólito é a fonte de gás? No meio da discussão, um aluno deu-me uma olhada desconfiada e disse: “Você quer dizer que a água líquida está desaparecendo e se transformando nesses gases que nem sequer se pode ver? É isso que você quer dizer com os gases serem provenientes da água? Eu não acredito! Não é possível! Água não é nada parecida com esses gases.”

O segundo incidente ocorreu durante o segundo semestre na turma de economia doméstica. Dei um exame e aqueles que tiraram notas baixas começaram a me procurar. Tentei descobrir o que estava errado. Formulei algumas questões como: “Diga-me com suas próprias palavras qual a diferença entre as representações: H^+ , H e H_2 .” Alguns poucos atribuíram os nomes íon, átomo e molécula, respectivamente; entretanto, nenhum dos estudantes que me procurou parecia ter a noção da diferença entre as partículas representadas. “Olhem”, eu disse, “digam-me o que esta sentença química quer dizer: $CH_4 + 2 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$.” A maioria não tinha ideia. No exame final do

curso, menos do que 50 % dos estudantes parecia ter compreendido que é o Cl^- que está no sal de cozinha, e não Cl_2 – ou que havia uma diferença entre os dois.

O terceiro incidente é mais uma observação geral que um acontecimento específico. Através dos anos observei que para muitos estudantes, qualquer conceito que envolvesse proporção era extremamente difícil. Densidade, velocidade, aceleração, molaridade e rapidez de transformação química são alguns desses conceitos. Os estudantes são capazes de memorizar um algoritmo para fazer cálculos numéricos dessas quantidades, mas parecem ter uma compreensão tão pobre da ideia, que são incapazes de aplicar o conceito em qualquer problema diferente daqueles analisados e discutidos em classe. (Por exemplo, estudantes que aprenderam a calcular a densidade a partir de dados de massa e volume são, freqüentemente, incapazes de responder questões simples, tais como: “Água possui densidade menor que o ácido sulfúrico. Quem teria o maior volume, 100 g de água ou 100 g de ácido sulfúrico?”)

Se eu pensasse que essas ideias errôneas – ou melhor, essa falta de ideias – que eu relatei fossem devidas unicamente à minha inaptidão ao ensinar, eu não as estaria relatando. E, ao contrário do que alguns professores preferem acreditar, estes não são alunos que não se esforçam em aprender; eles são “bons” alunos que fazem um esforço consciente no sentido de conseguir aprender. No entanto, estes estudantes parecem simplesmente não poder entender ideias abstratas, tais como átomos, moléculas e gases ideais. Serão eles “burros”? Acho que sim. Mas não no mesmo sentido em que nós normalmente dizemos que uma pessoa é “burra” ou “idiota”. Acredito que esses são estudantes que não atingiram o estágio de operações formais em seu desenvolvimento intelectual.

Alguns de vocês conhecem o trabalho do psicólogo suíço Jean Piaget. Para os que não o conhecem, um resumo de três parágrafos deve ser suficiente para colocar as coisas em perspectiva.

Piaget descreve o desenvolvimento intelectual em termos de quatro estágios: sensório-motor, pré-operacional, operacional concreto e operacional formal. De acordo com Piaget, seria de se esperar que os estudantes entrassem no estágio de pensamento operacional formal por volta dos doze anos, e completassem seu desenvolvimento intelectual básico por volta dos quinze anos. Infelizmente, evidências obtidas em vários estudos sugerem que isso não acontece. Lovell testou um grande número de estudantes na Inglaterra e descobriu que somente de 23 a 37 % de uma amostra constituída por 39 alunos da escola de gramática, 10 estudantes de nível superior, e 3 adultos, demonstraram raciocínio formal.(1) Em um estudo realizado por Dale na Austrália, somente 25 % dos estudantes de 15 anos de sua amostra foram capazes de resolver completamente uma tarefa destinada a medir o raciocínio formal.(2) Um estudo amplamente divulgado feito há alguns anos na Universidade de Oklahoma indicou que 50 % dos ingressantes em cursos superiores testados operavam completamente no nível operacional concreto de Piaget, e que apenas 25 % da amostra poderia ser considerada totalmente formal em seu raciocínio.(3) Estudos feitos por Elkind (4) e por Tower e Wheatley (5) mostraram que somente cerca de 60 % dos ingressantes em cursos superiores testados acreditavam que o volume de uma bola de argila permanecia constante quando a

argila era esticada como uma salsicha. As implicações desses estudos tornam-se claras quando comparamos posteriormente o funcionamento intelectual de estudantes no estágio de desenvolvimento operacional concreto com os que estão no formal.

Em primeiro lugar, é importante ter em mente que “operações concretas *são* concretas, relativamente falando; sua atividade estruturadora e organizadora está orientada para coisas concretas e acontecimentos no presente imediato”(6). O estudante operacional concreto não pensa em termos de possibilidades e não é capaz de compreender conceitos abstratos que se afastam da realidade concreta. Entretanto, o estudante operacional formal “começa a pensar em termos do que *poderia* acontecer, e vislumbra todas as mudanças possíveis. Isto o capacita a raciocinar sem suportes visuais” (7). Dizer que um estudante que não alcançou o estágio das operações formais não pode raciocinar ou resolver problemas é enganoso. Ele pode, mas o ponto de partida para o estudante operacional concreto é sempre o real, em vez do potencial. Seu raciocínio é sempre baseado em observações reais e é limitado a extrapolações dessas experiências sensoriais. Ele não delinea todas as possibilidades, nem pensa no observado como sendo simplesmente um caso particular do possível.

Como até mesmo aqueles indivíduos que desenvolveram o nível de operações formais normalmente reverterem ao pensamento operacional concreto quando se defrontam com uma área não familiar, vamos dar exemplos que ajudem a esclarecer as distinções a serem feitas.

Uma distinção entre os raciocínios operacional concreto e operacional formal é que o primeiro ocorre em termos de experiências concretas, enquanto que as mesmas operações lógicas, aplicadas a abstrações, seriam características do raciocínio operacional formal. Por exemplo, um estudante que opera no nível de operações concretas pode responder corretamente à pergunta: “Há mais esferas verdes ou de plástico?” após ter visto o instrutor colocar diversas esferas de plástico, verdes e brancas, numa caixa. Entretanto, somente aqueles estudantes que operam no nível operacional formal respondem corretamente quando se lhes diz: “ ‘Algumas das moléculas em solução são azuis’, disse o professor. Um estudante respondeu, ‘Então todas as moléculas são azuis’. Um segundo estudante comentou: ‘Algumas moléculas são azuis?’; e um terceiro afirmou: ‘Nenhuma molécula é azul.’ Quem está certo?”

De maneira similar, os estudantes que operam no nível concreto podem facilmente ordenar um grupo de palitos do mais curto para o mais comprido. Entretanto, quando se diz “Guilherme é mais alto que João; Guilherme é mais baixo que Tiago; quem é o mais alto dos três?”, somente aqueles estudantes que começaram a usar operações formais podem responder corretamente.

Uma vez que se atinge o nível das operações formais, os indivíduos começam a pensar em termos de possibilidades, e são capazes de considerar sistematicamente todas as possibilidades de uma dada situação. Uma das tarefas utilizadas para distinguir entre indivíduos concretos e formais envolve a apresentação a eles de quatro frascos numerados, contendo soluções incolores (as soluções são: ácido sulfúrico diluído, peróxido de hidrogênio diluído, água pura e tiosulfato de sódio) e um frasco conta-gotas contendo uma solução identificada por “g” (iodeto de potássio).

Solicita-se então ao indivíduo que “utilize o conteúdo dos frascos numerados para produzir uma cor amarela ao se adicionar o conteúdo de ‘g’ .” O procedimento seguido pelos estudantes no nível operacional concreto tende a ser o de tentativa e erro; nem todas as possíveis combinações são examinadas – de fato, parece que o indivíduo nesse nível não é capaz de identificar as combinações possíveis. Em contraste, o procedimento seguido por aqueles que são formais é sistemático; as combinações possíveis são eliminadas de maneira ordenada.

Uma terceira característica das operações formais é o reconhecimento da necessidade lógica de “todas as outras coisas sendo iguais”. Isso pode ser ilustrado por uma outra tarefa utilizada para se determinar se os estudantes operam no nível das operações formais. A tarefa das varetas flexíveis envolve dar ao estudante pesos e diversas varetas de metal que diferem em comprimento, espessura e composição. Pede-se ao estudante que descubra que fatores afetarão o quanto as varetas irão se dobrar.

Resposta concreta típica é a do estudante que pendura pesos iguais numa vareta curta e grossa e numa vareta comprida e fina, para “provar” que “varetas longas entortam mais.” Momentos depois ele pode utilizar os *mesmos* materiais para “provar” que “varetas finas entortam mais.” Entretanto, o estudante formal “controla as variáveis”; isto é, ele vê a necessidade de que “todas as outras coisas sejam iguais” antes de tirar conclusões sobre o efeito da manipulação de alguma variável sobre o entortamento da vareta.

Embora haja outras distinções entre o raciocínio concreto e o formal, essas devem ser suficientes para nossos propósitos.

Baseado no modelo de Piaget de desenvolvimento intelectual, Lawson (8) sugeriu que existem certos conceitos que são compreensíveis para estudantes que ainda estão no estágio de desenvolvimento operacional concreto, enquanto outros conceitos somente são compreensíveis para aqueles estudantes que atingiram o nível das operações formais.

Lawson mostrou que existe uma relação direta entre a aprendizagem de conceitos formais e o nível de desenvolvimento intelectual como definido por Piaget. (...) É de particular interesse notar que nenhuma questão envolvendo conceito formal foi respondida corretamente por qualquer estudante que não houvesse atingido o nível que Lawson chamou de “pós-concreto.” (Este representa um nível de transição, do raciocínio concreto para o formal.) Além disso, somente os estudantes que mostraram evidências de substancial desenvolvimento do raciocínio formal (acima do nível piagetiano “III A”) foram capazes de responder pelo menos metade das questões que envolviam conceitos formais (...).

Ainda assim, pode-se perguntar, onde está o problema? Quanto do que é ensinado em química realmente requer raciocínio formal? Em minha opinião, uma grande parte – e não estou sozinho nessa opinião. Em um trabalho que discute o nível do raciocínio requerido para acertar várias questões de ciências, Robert Karplus comenta (9):

Fiquei surpreso quando examinei pela primeira vez oito provas de biologia elaboradas por professores, e não consegui encontrar nenhuma questão que, em minha opinião, convidasse ao raciocínio formal ...

(Mas em química) encontrei problemas requerendo raciocínio formal em todos os lugares que eu olhasse. Tive dificuldade em localizar itens que pudessem ser resolvidos no nível concreto, e que não dependessem da memorização de fatos relacionados às propriedades de elementos e compostos específicos.

Sem intenção de ser exaustivo, fiz uma lista de exemplos de competências que comumente se espera de estudantes que iniciam o estudo em química e que, em minha opinião, *podem* ser alcançadas por estudantes que não estão no nível de raciocínio formal. Comparei-as com a descrição de competências relacionadas que acredito requererem raciocínio formal. Isso está apresentado na tabela. [*Obs.: Esta tabela será apresentada em aula.*]

Ao olhar para a lista que elaborei, estou cada vez mais convencido de que tenho a tendência de enfatizar aquelas competências que se situam na coluna “não são capazes” do quadro. Fico apreensivo toda vez que coloco numa prova um item que não requer mais do que simples memorização. Se meu julgamento estiver correto, então pode-se prever que a aprovação num curso de química lecionado por mim estaria substancialmente relacionada com o nível de desenvolvimento intelectual do estudante conforme medido por testes piagetianos.

No semestre passado, uma amostra aleatória de 20 estudantes foi selecionada dentre os estudantes matriculados no curso que eu supervisionava. Dezesete desses estavam disponíveis para serem avaliados por meio de uma série de tarefas piagetianas, administradas por três estudantes de pós-graduação em educação em ciências. Os resultados dessas tarefas foram então comparados com o total de pontos obtidos no curso de química, usando a correlação produto-momento de Pearson. A melhor estimativa da correlação obtida foi 0,8 (10).

Não sei até que ponto essa relação poderia ser também observada em outros cursos de química, mas acredito que ela é bastante representativa. Como parte do trabalho que fizemos no semestre passado, 33 estudantes de primeiro ano, de diversos cursos, foram testados com a mesma série de tarefas piagetianas, e os resultados dessas tarefas foram comparados com os resultados de uma prova classificatória de química realizada no semestre anterior. Infelizmente, os estudantes nessa amostra não eram representativos dos estudantes das disciplinas de química; grande parte deles estavam entre os melhores alunos. Esta restrição no tamanho da amostra, aliada ao intervalo de tempo entre a administração do exame classificatório de química e os testes piagetianos, deveriam resultar numa estimativa de correlação mais baixa do que a que realmente existe entre as duas medidas. Ainda assim, a correlação foi substancial, 0,7 (11).

O que estou dizendo é que as evidências disponíveis sugerem fortemente que há um considerável número de estudantes ingressantes no nível superior que não operam no nível de raciocínio formal – talvez cerca de 50% dos ingressantes em cursos não relacionados às ciências exatas e da Natureza. Mas o conteúdo de química, e a abordagem que normalmente utilizamos no ensino de química, requerem que o estudante opere no nível formal para compreender os conceitos apresentados. Se esta avaliação estiver correta, então claramente temos um problema. Na verdade, espero que o “se” dessa afirmação desperte muito menos consenso do que o “então”. Meu colega

Derek Davenport aludiu aos mesmos problemas que me preocupam, embora abordemos a questão de pontos de vista bastante diferentes. Citando Derek:

Após o choque representado pelo lançamento do *Sputnik*, o conteúdo dos cursos de química foi mudado dramaticamente. Isso foi bom, pois muita coisa inútil havia se acumulado. Ao mesmo tempo, o nível intelectual foi elevado ao ponto de que estudantes medianos (e muitos dos estudantes de pós-graduação que faziam monitorias) muitas vezes perdiam contato com a realidade. *Fatos desconhecidos eram explicados em termos de teorias impenetráveis, resultando em variados graus de caos*. Assim como a Rainha Vermelha [da história de Alice no País das Maravilhas], tinha-se que correr muito rápido apenas para ficar no mesmo lugar, e duas vezes mais rápido para acompanhar a vanguarda. (12) (ênfase nossa)

Na medida em que as mudanças que observamos no ensino de ciências foram voltadas para explicar, em termos de teorias impenetráveis, fatos químicos que os estudantes nunca tiveram oportunidade de presenciar, certamente tornamos a ciência mais difícil para aqueles “bons” alunos que não são capazes de compreender abstrações. Entretanto, na minha opinião, grande parte da química *são* abstrações. A tentação de retornar a um curso baseado na simples memorização de um catálogo de fatos químicos descritivos me é tão repugnante quanto a continuação de cursos baseados na simples memorização de teorias impenetráveis. Acredito que a alternativa seja reconhecer por que a teoria é impenetrável; isto é, reconhecer que grande parte de nossos alunos operam abaixo do nível formal; e, a partir daí, abordar o ensino de química de tal modo que o problema seja contornado ou superado. Podemos contornar o problema se pudermos tornar acessível aos estudantes que não desenvolveram o raciocínio formal aquilo que estamos tentando ensinar; e podemos superar o problema se pudermos encorajar e auxiliar os alunos a atingirem o estágio das operações formais. Desejo agora tratar desses dois aspectos.

Vou descrever o que quero dizer quando falo em tornar os conteúdos acessíveis aos estudantes do nível concreto. No quadro [*Obs.: Será apresentado em aula.*] sugeri que o conceito de ácido como qualquer coisa capaz de tornar vermelho o tornassol é um conceito concreto. O significado do conceito é facilmente apreendido pela observação sensorial, e requer habilidades simples de classificação. Mas também sugeri que os conceitos de ácido como qualquer coisa que produz íons hidrogênio em solução aquosa (Arrhenius), como um doador de prótons (Bronsted-Lowry), ou como um receptor de pares eletrônicos (Lewis), são formais. Estes significados de “ácido” não podem ser esclarecidos diretamente através dos sentidos, uma vez que não há como sentir prótons ou pares eletrônicos. Ao contrário, estes conceitos de ácido somente podem ter sentido por meio da imaginação ou do raciocínio lógico acerca da natureza das partículas que interagem.

Antes de prosseguir, devo fazer uma advertência àqueles que estão dizendo: “Besteira! Não tenho nenhum problema para ensinar as teorias ácido-base de Bronsted-Lowry e Lewis para os alunos.” Antes de chegar a essa conclusão tão rapidamente, verifique com cuidado para ter certeza de que os alunos que “aprenderam” esses conceitos não estão simplesmente repetindo palavras

como um papagaio, sem compreender o seu sentido. Estou me referindo aqui à aprendizagem *significativa*, e não à simples memorização.

Sugeri – e acredito – que os conceitos formais não são de fato acessíveis a estudantes que não desenvolveram o raciocínio formal; mas também acredito que nós podemos possibilitar aos estudantes no nível concreto a aquisição de outros conceitos que possam substituir os formais, habilitá-los a lidar com muitos dos (mas não com todos os) problemas que lhes impingimos, e fazer a transição entre o “conceito-substituto” e o conceito real muito facilmente em algum momento posterior. A solução, acredito, é oferecer amplo uso de apoios concretos que sirvam para modelar o conceito abstrato. Isso já é feito, mas não o suficiente. No caso do conceito de ácido, por exemplo, acredito que podemos obter bons resultados se fizermos bastante uso de modelos físicos, nos quais mostremos aos estudantes uma bola – representando o próton – sendo removida do substrato ácido. O modelo é concreto e o aluno pode imaginar o processo que descrevemos em termos desse modelo.

Além de modelos físicos manipulados pelos alunos, pode-se utilizar filmes para mostrar modelos macroscópicos dos sistemas microscópicos. Diversos exemplos desses modelos podem ser vistos nos filmes do CHEM Study. Por exemplo: o uso de um tanque com água sob agitação para demonstrar padrões de interferência em “Cristais e Sua Estrutura”; o uso de modelos moleculares para demonstrar a absorção de energia ondulatória em “Espectroscopia Molecular”; e a animação usada para descrever o comportamento molecular em “Introdução à Cinética Química.” Provavelmente é verdade que o conceito que o aluno desenvolve quando ele vê esses modelos não é exatamente o conceito que estamos tentando ensinar; mas é uma aproximação razoável, e tem utilidade considerável quando o aluno tem que lidar com diversos problemas que lhe são propostos.

É fácil ver que são muito grandes as possibilidades do uso de modelos físicos que forneçam significado a conceitos abstratos em química. O que parece ser difícil é o instrutor (que certamente é formal em seu raciocínio) perceber que vale a pena investir tempo e esforço manipulando bolas e varetas, e fazendo com que os alunos façam o mesmo. Existe, contudo, pelo menos algumas evidências que mostram que esse tempo extra é bem gasto – a menos que você esteja interessado em que os alunos simplesmente memorizem fragmentos de informações. Em um estudo realizado na Virgínia Ocidental, observou-se que os estudantes aos quais se exigia que construíssem modelos físicos para representar os reagentes e produtos para todas as equações químicas discutidas em aula tiravam notas cerca de 24% maiores em todas as provas aplicadas durante o semestre, em relação aos estudantes que não usaram os modelos (13). Deve-se notar que, quando foram consideradas, dentre essas provas, somente as questões que envolviam memorização, os estudantes que não usaram os modelos saíram-se ligeiramente melhor (cerca de 5%); mas, nas questões que envolviam raciocínio lógico, os estudantes que usaram os modelos tiraram notas de 30 a 65% maiores. Em um teste de retenção aplicado aos alunos que prosseguiram o curso no semestre seguinte, a diferença entre os dois grupos foi essencialmente a mesma.

Existem outras estratégias que podem ser utilizadas no ensino de química que tornam o conteúdo mais acessível aos estudantes cujo raciocínio ainda não é inteiramente formal. Certos conceitos podem ser abordados de várias maneiras e, em alguns casos, uma abordagem requer mais raciocínio formal do que outra. Como exemplo, eu diria que a apresentação da oxidação e da redução como perda e ganho de elétrons requer raciocínio formal, enquanto que a definição da oxidação e da redução em termos de ganho ou perda no número de oxidação requer apenas raciocínio concreto. À primeira vista isso pode parecer absurdo, pois as duas definições dos conceitos são em termos de algum tipo de ganho ou perda. Considere, entretanto, que o número de oxidação é apresentado como um artifício de contabilidade, em que o aluno aprende um conjunto de regras que são facilmente aplicadas para determinar o número de oxidação dos átomos, e em seguida as mudanças nos números de oxidação. Não é necessário que o estudante imagine nada sobre a natureza dos átomos (que, decididamente, *não* são concretos) para que ele seja capaz de aplicar as regras do balanceamento de equações que envolvem oxidação e redução, ou para que ele chegue a qualquer das conclusões que normalmente queremos comunicar durante nossas aulas. Além disso, ensinar oxidação e redução dessa maneira não interfere na posterior associação que o aluno fará entre oxidação e perda de elétrons. Isso pode ocorrer quando – numa aula sobre eletroquímica, digamos – o estudante fizer algumas observações concretas que possam ser facilmente extrapoladas para a conclusão de que o aumento do número de oxidação de um átomo pode ser o resultado da perda de elétrons. Mas a compreensão da oxidação em termos da perda de elétrons requer a imaginação daquilo que nunca foi visto, e a compreensão de um sistema postulatório-dedutivo – a saber, a teoria atômica. Portanto, parece-me que este conceito de oxidação somente pode ser compreendido por estudantes que tenham desenvolvido o raciocínio operacional formal.

A resolução de problemas de química por meio da abordagem dos fatores de conversão (chamada às vezes de análise dimensional, ou análise de unidades) é largamente utilizada, porque os professores que a experimentaram descobriram que ela funciona, enquanto que as abordagens envolvendo razões e proporções facilmente geram confusão entre os estudantes. Para que um estudante seja capaz de aplicar corretamente o método de razões e proporções em problemas de química, ele deve ser capaz de raciocinar formalmente. Como todos os problemas de estequiometria envolvem os conceitos de razão e proporção, estou convencido de que qualquer estudante que entenda completamente o que está acontecendo deve estar operando no nível formal, independente do modo como ele resolve o problema. Mas o método dos fatores de conversão fornece um procedimento quase infalível para a correta resolução de problemas de estequiometria, sem a necessidade do raciocínio formal. Além disso – e isto eu considero importante – esse procedimento organiza os fatos químicos do problema de tal modo que ele pode conduzir o aluno a enxergar o raciocínio que caracteriza a resolução. No mínimo, o uso desse método não interfere com a percepção das relações lógicas implicadas na equação, e que estão implícitas na resolução do problema.

Estou firmemente convencido de que podemos identificar muitos outros tópicos em química que geralmente são apresentados de maneira a requerer raciocínio formal, mas que poderiam ser apresentados de tal modo que fornecessem ao estudante que ainda não alcançou o nível das operações formais um razoável fac-símile da ideia. Ainda assim, acredito que seja enganoso assumir que alguém que não apresente raciocínio formal possa “compreender” a química. A química, e a maior parte da ciência, é formal por sua própria natureza. Se reconhecemos isso, não podemos continuar nos esquivando da nossa responsabilidade de auxiliar os alunos a desenvolverem o raciocínio formal.

Considerando que Piaget sugeriu que os alunos deveriam desenvolver o raciocínio formal por volta dos 15 anos de idade; e considerando que é sabido que muitas pessoas o fazem; pode-se perguntar: “Por que cerca da metade dos estudantes de cursos superiores não relacionados às ciências exatas e da natureza não apresentam raciocínio operacional formal?” Uma explicação possível – e que não deveria ser completamente ignorada – é a herança genética. Entretanto, existem diversas observações (por exemplo, que uma proporção maior de meninos apresentam raciocínio formal do que as meninas) que sugerem outras razões. Existem estudos que mostram que a educação pode conduzir à melhoria do raciocínio formal (3). Estamos no estágio exploratório da pesquisa nessa área, mas parece haver consistências que estão emergindo. Em primeiro lugar, a inclusão de experiências concretas – isto é, oportunidades para realmente tocar, cheirar, ver e manipular materiais que conduzirão ao conceito – parece ser importante. Mas as experiências concretas *não* serão particularmente úteis se tudo o que o aluno fizer for simplesmente tocar, cheirar, ver e manipular, sem ser forçado a pensar sobre o que estiver fazendo. Pois é isso o que acontece na maior parte de nossos trabalhos em laboratório, o que é inútil. Poderia parecer que aquelas experiências educacionais que encorajam o debate intelectual de ideias, a ponderação de evidências, e dão ênfase à “apreensão do sentido” dos fatos observados, seriam as que levariam ao desenvolvimento do raciocínio formal. Mas essas experiências educacionais consomem tempo, requerem um alto grau de interação entre os estudantes, ou entre o professor e o aluno, e são dolorosamente frustrantes tanto para o estudante como para o professor. Alunos que ainda não estão no nível operacional formal tendem a achar a experiência tão frustrante que desejam desistir, e o instrutor tende a considerar esses estudantes idiotas demais para entender o material. Se a disciplina for obrigatória para o curso escolhido, esses estudantes serão reprovados porque não a acompanharam – e provavelmente deveriam mesmo ser reprovados. Se a disciplina for parte do currículo de cursos como pedagogia, enfermagem ou economia doméstica, uma resposta mais comum é assumir que os alunos desses cursos são “burros” demais, ou desinteressados demais, para aprenderem química, e a disciplina é então planejada de modo que a ênfase seja na memorização de informações, que quase nunca fazem sentido para o estudante. Se o aluno faz um mínimo de esforço, e consegue se lembrar de alguma parte do material que foi decorado, sem expressar-se de maneira muito confusa, o professor lhe dá o benefício da dúvida e o aprova.

Parece que estamos num carrossel. Apresentamos o material em um nível abstrato, com tão poucos suportes concretos que mesmo os melhores alunos têm dificuldades; como os estudantes são intelectualmente incapazes de compreender as ideias, eles decoram; aplicamos uma prova e daí descobrimos que os alunos só aprenderam o que podia ser aprendido por memorização; concluímos que os estudantes não são capazes de pensar de verdade, então é melhor nos contentarmos com o que podemos ensinar mecanicamente; como limitamos nosso ensino àquilo que envolve simples memorização, os alunos nunca são forçados a desenvolver seu raciocínio até o nível das operações formais; como eles não desenvolvem o raciocínio formal, não podem compreender o material abstrato que apresentamos.

Acredito que poderemos fazer considerável progresso no ensino de química para estudantes de outras áreas quando reconhecermos o vasto número de ideias em química que são apresentadas de um modo que requer raciocínio formal até mesmo para uma compreensão aproximada do conceito. Podemos buscar, para essas ideias, abordagens alternativas que dependam menos de operações formais. Entretanto, como a ciência é, por sua própria natureza, formal, devemos também fazer um esforço consciente para aumentar o desenvolvimento intelectual dos estudantes de nível superior. Não podemos assumir que os “bons” estudantes *são* formais; mas com certeza podemos ajudá-los a *se tornarem* formais.

Referências

- (1) Lovell, K. *Brit. J. Psych.*, **52** (1961), 143 – 155.
- (2) Dale, L. G. *Aust. J. of Psych.*, **22**, no. 3 (1970).
- (3) McKinnon, J. W. e J. W. Renner. *Amer. J. Phys.*, **39** (1971), 1047 – 1052.
- (4) Elkind, D. *J. Soc. Psych.*, **57** (1962), 459 – 465.
- (5) Tower, J. O. e G. Wheatley. *J. Genetic Psych.*, **118** (1971), 265 – 270.
- (6) Flavell, J. H. *The Development Psychology of Jean Piaget*, D. Van Nostrand, Princeton, 1963.
- (7) Case, R. *Phi Delta Kappan*, **55** (1973), 23.
- (8) Lawson, A. E. “Relationships of Concrete and Formal Operational Science Subject Matter and the Developmental Level of the Learner.” Trabalho apresentado na *National Association for Research in Science Teaching Convention*, Chicago, abril de 1974.
- (9) Karplus, R. Trabalho apresentado no *Third Annual Meeting of the Jean Piaget Society*, 22 de maio de 1973.
- (10) Hammond, M. K. “The Relationship Between Piagetian Measures of Developmental Stages and Scores in an Introductory Chemistry Course.” Trabalho não publicado, realizado na *Purdue University, Department of Chemistry*, maio de 1974.
- (11) Dilling, R. A. Trabalho não publicado, realizado na *Purdue University, Department of Chemistry*, maio de 1974.
- (12) Davenport, D. “The Red Queen, the Caucus Race and the Impending Class of 1984.” Texto preparado para apresentação no *102 Annual Meeting of the Manufacturing Chemists’ Association*, ocorrido em Greenbrier, White Sulfur Springs, Virgínia Oriental, 6 de julho de 1974.
- (13) Talley, L. H. *J. Res. Sci. Teach.*, **10**, no. 3 (1973).