



## Semiótica na Química: a teoria dos signos de Peirce para compreender a representação

**Jackson Gois e Marcelo Giordan**

Neste trabalho, apresentamos uma discussão a respeito dos processos de significação de representações químicas na sala de aula a partir da contribuição da teoria semiótica de Peirce. Também neste trabalho discutimos a contribuição das representações computacionais nos processos de significação na sala de aula de Química. Com esta reflexão, queremos amparar o desenvolvimento de ambientes virtuais de Ensino de Química em base teórica que nos permita conjugar aspectos epistemológicos da Química com os fundamentos da teoria dos signos na direção de problematizar a produção de significados na sala de aula.

► Semiótica, representação estrutural, significação ◀

Recebido em 10/10/06; aceito em 18/10/07

34

A utilização apropriada de simbologias, desenvolvidas ao longo de séculos, constitui uma parte significativa do conhecimento químico por ser uma ciência que trata da matéria em uma escala submicroscópica ou nanoscópica.

A despeito da importância do uso apropriado das simbologias químicas no âmbito da sala de aula de Química, é freqüente a dificuldade por parte de estudantes sobre a compreensão e o uso desses símbolos, o que é apoiado pelo estudo das concepções alternativas de estudantes de Ensino Médio e Superior.

No sentido de compreender as relações de significação de representações próprias grafadas e faladas que têm lugar na sala de aula de Química, descrevemos neste trabalho as bases da teoria semiótica de Charles Peirce e sua contribuição para a compreensão dos processos de significação desse ambiente de ensino. Essa teoria trata explicitamente a relação entre as representações e seus “motores de significação”, o que é importante para a compreensão dos processos de ensino e aprendizagem

que ocorrem em atividades de ensino na sala de aula de Química.

Temos como objetivo neste texto trazer uma compreensão mais aprofundada a respeito dos processos de significação de representações químicas na sala de aula a partir da contribuição da teoria semiótica de Peirce. Também temos como objetivo discutir a contribuição das representações computacionais nos processos de significação na sala de aula de Química. Com esta reflexão, queremos, portanto, amparar o desenvolvimento de ambientes virtuais de Ensino de Química em base teórica que nos permita conjugar aspectos epistemológicos da Química com os fundamentos da teoria dos signos na direção de problematizar a produção de significados na sala de aula.

### **Peirce: uma breve biografia**

Charles Sanders Peirce (1839-1914) nasceu em Cambridge, Massa-

chusetts, e é considerado o mais importante dos fundadores da moderna teoria geral da semiótica (Nöth, 2005). Seus escritos têm recebido atenção internacional por mais de um

século e contribuíram substancialmente para a base do pensamento científico moderno (Peirce, 1981). Seu pai, Benjamin Peirce, foi um distinto professor de Matemática na Universidade de Harvard, sendo considerado o mais

importante matemático norte-americano em sua época. Sua família mantinha proximidade dos círculos acadêmicos e científicos, e em sua casa eram recebidos os mais renomados artistas e cientistas, de forma que desde criança Peirce já convivia num ambiente de natural inclinação intelectual. Tinha aspirações ao conhecimento químico desde os seis anos de idade e aos onze anos escreveu uma pequena História da Química.

Por influência de seu pai,

No sentido de compreender as relações de significação de representações próprias grafadas e faladas que têm lugar na sala de aula de Química, descrevemos as bases da teoria semiótica de Charles Peirce

bacharelou-se em Física e Matemática na Universidade de Harvard, em 1859, e se graduou em Química com a qualificação *summa cum laude* (aprovado com louvor) na Lawrence Scientific School em 1863 (Sebeok e Sebeok, 1987). Peirce se considerou químico por muito tempo durante sua vida, mesmo quando sua busca científica o levou para outras áreas do conhecimento (Peirce, 1981). Além da Química, ele tinha interesse em várias outras áreas do conhecimento como Matemática, Física, Astronomia, Biologia, Economia, Geodésica, Topografia, Cartografia, Lingüística, Filologia, História, Arquitetura, Artes Plásticas, Quirografia, Línguas (conhecia cerca de dez), Psicologia e era um profundo conhecedor de Literatura. Trabalhou a maior parte de sua vida profissional a serviço do governo federal em Astronomia e Geodésica durante o dia e, de 1861 a 1891, no observatório da Universidade de Harvard durante a noite (Santaella, 2005). O centro de todo o interesse de Peirce era a Lógica, que ele considerava ser apenas uma, que ele considerava ser apenas um outro nome da Semiótica. Conforme veremos abaixo, sua formação básica e inicial em Química provavelmente contribuiu de maneira substancial para o desenvolvimento de sua teoria semiótica.

## A Semiótica

A Semiótica é a ciência dos processos significativos (semiose), dos signos lingüísticos e das linguagens (Nöth, 2005). Esses processos significativos são mediados pela materialidade da palavra grafada ou falada, de símbolos escritos, gestuais ou naturais, e acontecem sempre que alguma coisa significa algo para alguém (Peirce, 2005). Dessa forma, além de ser necessário que haja uma veiculação material do signo, é necessário também que este seja percebido e compreendido por um ser vivo.

Essa ciência propriamente dita te-

ve o seu início com o filósofo John Locke (1632-1704), que postulou uma “doutrina dos signos” com o nome de *Semeiotiké*, em 1690, na sua obra *Essay on human understanding* (Nöth, 2005). Charles Sanders Peirce, no entanto, deu a contribuição de maior peso para essa ciência que foi a última

ciência humana a ser estabelecida como área de conhecimento no início do século XX.

A semiótica, que também tem por objeto de estudo todas as linguagens possíveis (Santaella, 2005), traz importantes contribuições para o entendimento do papel da linguagem

nas ações humanas. Nesse ponto, não se deve confundir *linguagem* com *língua*. Por *língua*, pode-se entender a língua nativa, materna ou pátria, utilizada cotidianamente para a comunicação de forma escrita e oral. No entanto, essa comunicação também pode acontecer por intermédio de outras *linguagens* como imagens, gráficos, sinais, luzes, fenômenos naturais, por meio do cheiro e do tato, e muitas outras formas que constituem diferentes formas de *linguagens*.

De uma forma especial, o estudo do fenômeno de promoção de significado é importante para uma melhor compreensão das ações que ocorrem no ambiente de ensino, mediadas principalmente pelo uso da língua materna, mas também por um conjunto de simbologias

próprias das diferentes áreas de conhecimento e por diferentes agentes presentes na situação de ensino. Pelo fato de a Química

utilizar uma linguagem escrita e falada tão relacionada com o uso de simbologias exclusivas ou compartilhadas por outras áreas das ciências exatas, é importante a utilização de uma abordagem que considere explicitamente o papel da mediação dos signos lingüísticos na constituição do

conhecimento humano, em especial nos processos de significação.

## A tríade signo, objeto e interpretante

A teoria semiótica de Peirce propõe que o conhecimento humano pode ser representado por uma tríade: signo, objeto e interpretante. De acordo com o próprio Peirce, um signo é tudo aquilo que representa algo para alguém como, por exemplo, sinais escritos ou gestuais, desenhos, símbolos, situações ou imagens. Dentro da idéia da tríade, o signo é tudo aquilo que está relacionado com uma segunda coisa e que a representa. Essa segunda coisa que é representada pelo signo é chamada de objeto, a qual pode existir concretamente ou não. A palavra “béquer” pode ser citada como exemplo de signo que tem um objeto com existência concreta. Quando essa palavra (signo) é lida, a mente do leitor é levada a imaginar um artefato vítreo de forma aproximadamente cilíndrica aberto na parte de cima e fechado na parte de baixo. Na teoria semiótica, esse artefato é denominado de objeto. Por outro lado, a palavra “saudade” pode ser citada como exemplo de signo que tem um objeto com existência abstrata, pois ela leva a mente do leitor a um sentimento relacionado à ausência de alguém ou algo.

A mediação é a principal característica dos signos, pois eles se colocam entre o sujeito e o mundo tanto para organizar atividades de produção material e simbólica, quanto para estruturar o pensamento. Ainda de acordo com Peirce, o signo dirige-se

a alguém, isto é, cria na mente dessa pessoa um signo equivalente ou mais desenvolvido, denominado interpretante, que está relacionado aos construtos

teóricos existentes nas mentes de quem pratica as mais variadas formas de conhecimento. Nos exemplos citados acima, as palavras “béquer” e “saudade” criam na mente do leitor as idéias respectivas relacionadas a essas palavras. Dessa maneira, o signo, o seu objeto e o interpretante

**A Semiótica é a ciência dos processos significativos, dos signos lingüísticos e das linguagens. Esses processos significativos são mediados pela materialidade da palavra grafada ou falada, de símbolos escritos, gestuais ou naturais, e acontecem sempre que alguma coisa significa algo para alguém**

**A teoria semiótica de Peirce propõe que o conhecimento humano pode ser representado por uma tríade: signo, objeto e interpretante**

criado na mente das pessoas formam uma tríade, a partir da qual podem ser mais bem compreendidos os processos de significação.

Ainda de acordo com Peirce, cada signo cria um interpretante que, por sua vez, é *representamen* de um novo signo, de forma que a semiose resulta numa série de interpretantes sucessivos, *ad infinitum*. Não haveria nenhum primeiro nem um último signo nesse processo de semiose ilimitada (Peirce, 2005). Nem por isso, entretanto, a idéia de semiose infinita implica num círculo vicioso ou auto-referente. Ao contrário, esse processo sucessivo estaria se referindo à idéia de dialogia no pensamento – diálogo este entre as várias fases do ego –, de maneira que, sendo dialógico, o pensamento se comporia essencialmente de signos. Como cada pensamento tem de dirigir-se a um outro, o processo contínuo de semiose (ou pensamento) só poderia ser interrompido, mas nunca realmente finalizado. Na vida cotidiana, devido às exigências práticas das realizações pessoais ou sociais, as séries de idéias não continuariam de fato *ad infinitum*, mas tecnicamente a seqüência da semiose seria sempre possível (Nöth, 2005, p. 72).

Do ponto de vista de sua relação com os próprios elementos da tríade peirceana, os signos podem ser classificados em três possíveis grupos: signo em si mesmo ou primeiridade; sua relação com seus objetos ou secuntidade; sua relação com seus interpretantes ou terceiridade (Nöth, 2005). Neste trabalho, escolhemos relacionar as dimensões do conhecimento químico com as possíveis relações dos signos com seus objetos. Isso porque o estudo do signo em si mesmo é de base ontológica e sua contribuição acontece no âmbito do conhecimento da *natureza* do signo, o que não traz contribuições diretas ao estudo sobre o desenvolvimento de ambientes de Ensino de Química nos quais estamos interessados.

**Ainda de acordo com Peirce, cada signo cria um interpretante que, por sua vez, é *representamen* de um novo signo, de forma que a semiose resulta numa série de interpretantes sucessivos, *ad infinitum***

Já o estudo do signo em relação ao seu objeto descreve de que forma o signo promove seu significado (Peirce, 2005). Como veremos adiante, na sua especificidade, o conhecimento químico dispõe de formas gráficas e fonéticas peculiares que são usadas quando lidamos com a interpretação de fenômenos da transformação dos materiais. O modo como essas representações promovem seus significados e a compreensão das ações que tem lugar durante o desenvolvimento das atividades de ensino são questões importantes no ensino da Química, em especial quando a natureza dessas representações é circunscrita às suas funções de mediação e de constituição do conhecimento.

Além disso, o campo coletivo na situação de ensino e aprendizagem, ou seja, a parte que pertencente tanto ao professor quanto ao estudante também está no âmbito das relações entre os signos e seus objetos, pois os interpretantes estão nas mentes de cada participante da situação de sala de aula, de forma que a relação entre o signo e o interpretante pertence apenas aos indivíduos particularmente. Com isso, o campo de ação do professor na situação de ensino, que pode ser visto como um processo de significação numa relação dos signos com seus objetos, deve ser entendido como um campo comum a dois lados, de onde se podem extrair importantes relações nos processos de ensino e aprendizagem.

Faz-se necessário observar que a abordagem do processo de significação que expomos não leva em consideração fatores de natureza sociológica ou culturais como, por exemplo, o valor atribuído pela coletividade às relações de nexos entre o signo e o objeto ou, ainda, o

propósito dessas relações para fins de organizar ações no coletivo, entre outros fatores (Giordan, 2006).

Considerando as relações do signo com seu objeto, existem três tipos de signo: ícone, índice e símbolo (Peirce, 2005). Os signos que têm o poder de significação por ostentar alguma semelhança com o seu objeto, semelhança essa visual ou de propriedades, são chamados de ícones. Como exemplo de ícone dentro do conhecimento químico, podemos sugerir a utilização de um 'objeto molecular'

concreto do tipo bola-vareta de uma espécie química qualquer como, por exemplo, a água, no contexto de uma aula sobre a descontinuidade da matéria. No mesmo instante em que o professor utilizar esse tipo de recurso em sua aula, a atenção do estudante será dirigida para as esferas distintas, talvez com colorações diferentes, e ligadas entre si. Esse tipo de representação tem a intenção explícita de enfatizar duas propriedades: a descontinuidade da matéria nas unidades discretas da molécula, bem como a tridimensionalidade do ente molecular. Dessa forma, por semelhança com as teorias de Dalton sobre a descontinuidade da matéria e de Lewis sobre os pares eletrônicos, as bolas simbolizam os átomos de hidrogênio e oxigênio e as varetas, as ligações químicas. Em nosso exemplo de ícone, qualquer pessoa sem o mínimo conhecimento químico (interpretante) e, portanto, sem nunca ter tido contato com a idéia de molécula (objeto) poderá identificar no ícone 'objeto molecular' unidades discretas distintas separadas por algo que as une. Temos, portanto, a função de promover significação por semelhança de propriedades entre o ícone (objeto molecular) e seu objeto (ente molecular).

Os signos que promovem significação em virtude de uma ligação física direta com o objeto, indicando

**Do ponto de vista de sua relação com os próprios elementos da tríade peirceana, os signos podem ser classificados em três possíveis grupos: signo em si mesmo ou primeiridade; sua relação com seus objetos ou secuntidade; sua relação com seus interpretantes ou terceiridade**

sua existência, são chamados de índices. Como exemplo de índice dentro do conhecimento químico, podemos citar a utilização do símbolo do elemento químico carbono (C) no contexto de uma aula sobre elementos químicos. Tão logo o professor utilize

essa simbologia, a atenção do estudante será dirigida para o elemento químico carbono que, nessa situação, geralmente tem apenas o nome como principal propriedade. Os índices promovem significação pelo fato de indicarem o objeto e de serem automaticamente afetados por ele, de forma que a indefinição do objeto acarreta a perda do significado pretendido. No caso da aula de elementos químicos, se o professor não explicar com antecedência que a letra 'C' representa o elemento químico carbono (objeto), a escrita desta não será de nenhuma utilidade para a significação pretendida. Os índices não dependem do interpretante, uma vez que apenas apontam para outro signo, obtendo assim seu significado. No caso da nossa aula de elementos químicos, se estivesse presente um estudante que não conhecesse o idioma local, ele poderia mesmo assim compreender plenamente que a letra 'C' maiúscula estaria indicando um objeto utilizado na aula (carbono).

Finalmente, os signos que são associados aos seus objetos em virtude de uma lei ou convenção são chamados de símbolos. Todas as palavras são símbolos porque não denotam coisas em particular, mas espécies de coisas, próprios da sua língua de origem

**Os signos que são associados aos seus objetos em virtude de uma lei ou convenção são chamados de símbolos. Todas as palavras são símbolos porque não denotam coisas em particular, mas espécies de coisas, próprios da sua língua de origem**

gua portuguesa, pois ele já existe na mente do estudante. A palavra sozinha não denota um palito de fósforos em particular ou o elemento químico fósforo, mas um tipo ou algumas possibilidades de tipo de objeto de conhecimento. Os símbolos dependem do interpretante porque é nele que reside a lei de associação ao objeto. Não dependem de si mesmos, como no caso dos ícones, para promover o significado porque não têm qualquer semelhança com o objeto. E não dependem de estar

indicando fisicamente o objeto no instante em que são proferidas (como no caso dos índices), porque já existe uma associação da palavra com a idéia em questão. Fora de seus contextos, toda forma de referência verbal na sala de aula, tomando cada palavra separadamente, é simbólica. Isso porque são utilizadas palavras como meio de referência aos objetos de conhecimento, a menos que o professor tenha diante de si o laboratório químico ou o quadro negro, pois dessa forma poderá apontar para objetos ou utilizar diferentes formas de grafia para promover significação de qualidade indicial. Idealmente, se considerarmos apenas o âmbito de significados da língua portuguesa, toda forma de referência falada, fora de seus contextos, é simbólica, uma vez que os estudantes certamente compreenderão isoladamente quase todas as palavras que forem faladas. Dentro dos significados do contexto da sala de aula de Química, no entanto, essas formas de referência podem ser simbólicas, indiciais ou icônicas, conforme descrito acima.

Ainda de acordo com Peirce, é difícil, senão impossível, encontrar algum signo desprovido da qualidade

**Os símbolos dependem do interpretante porque é nele que reside a lei de associação ao objeto. Não dependem de si mesmos, como no caso dos ícones, para promover o significado porque não têm qualquer semelhança com o objeto**

indicial. Semelhantemente, dentro do conhecimento químico, os mesmos signos poderão assumir qualidade indiciais, icônicas e simbólicas, dependendo do contexto em que são aplicados. O desejo dos educadores é que o ensino promova a migração das relações de qualidades indicial e icônica dos signos próprios do conhecimento químico, para uma relação de qualidade simbólica, ou seja, que os signos alcancem seus significados por se relacionarem com construtos teóricos presentes nas mentes dos estudantes.

### **As dimensões do conhecimento químico e os signos**

Uma dificuldade freqüente dos estudantes nas aulas de Química é a de não entenderem o que o professor está dizendo. Quando profissionais da Química se comunicam entre si, quase sempre não há necessidade de se explicitar se as referências são feitas no nível macroscópico, submicroscópico ou simbólico, pois estes operam apropriadamente entre todos os níveis. As referências a cada uma das dimensões do conhecimento são plenamente compreendidas pelos interlocutores uma vez que conseguem transitar amplamente por todas elas. Já os estudantes geralmente sentem dificuldade de entender a qual dimensão do conhecimento os profissionais se referem quando é necessário transitar entre elas.

Considerando individualmente a dimensão simbólica, macroscópica e submicroscópica do conhecimento

químico, quais são os tipos de relação semiótica que prevalecem entre os signos e seus objetos? Passamos a analisar, sob a visão dos tipos de relação de qualidade dos signos, as formas de referência a cada uma das três dimensões do conhecimento químico.

A dimensão macroscópica do conhecimento químico, conforme descrito acima, trata dos fenômenos e processos que são perceptíveis e

observáveis por meio de informações sensoriais e medições, como variação térmica, cores e cheiros em um laboratório. Os professores se referem a esse nível de conhecimento, com muita frequência, de forma oral após uma aula de laboratório. Nesse caso, são as palavras que constituem os signos a serem compartilhados pelo professor. Quando o professor fala sobre determinadas cores visualizadas, ele está se referindo a eventos específicos já conhecidos. Esse tipo de informação é facilmente apreendido pelos estudantes, de forma que nas séries iniciais onde ocorre o contato com a Química, aquilo que primeiro chama a atenção e provoca curiosidade são as informações trazidas do laboratório. Os estudantes não sentem dificuldade com as referências indiciais que os professores fazem na sala de aula: fica bastante claro a que o professor está se referindo quando, por exemplo, evoca a coloração de uma solução básica em presença de fenolftaleína. Existe caráter simbólico na representação macroscópica já que na situação de sala de aula podem ser feitos experimentos de pensamento utilizando conhecimentos trazidos do cotidiano. Podemos citar como exemplo uma situação em que o professor pede para os estudantes imaginarem o que acontece com cubos de gelo que são colocados dentro de um recipiente e deixados em temperatura ambiente. As palavras do professor vão direcionar o pensamento dos estudantes não para uma situação específica vivida por eles, mas para conhecimentos gerais relacionados ao gelo e à temperatura ambiente, ou seja, para o interpretante. Nesse caso, não existe caráter icônico porque, via de regra, não existe semelhança

entre a representação macroscópica e o objeto de conhecimento.

Dessa forma, quando os professores se referem à dimensão macroscópica do conhecimento, na maior parte das vezes, as palavras promovem seus significados por indicar a

existência de algo e, em alguns casos, elas o fazem a partir dos construtos existentes na mente dos estudantes. Apesar de existirem essas duas componentes semióticas na dimensão macroscópica – indicial e simbólica – e de os professores por vezes se referirem a ambas numa mesma fala, não existe a menor possibilidade de confusão por parte dos alunos porque a referência indicial indica o mundo concreto, real. O virtual, ou construto teórico, que é a referência simbólica, obtém significado do concreto, que é a forma de referência indicial. A vontade dos educadores é que durante as atividades de ensino, nessa dimensão do conhecimento, os estudantes dependam cada vez menos de referências indiciais e que estas sejam transformadas em construtos teóricos capazes de serem acessados por meio de referência simbólica ou do interpretante.

A dimensão submicroscópica do conhecimento químico trata do nível molecular dos fenômenos químicos, como o movimento e a interação das partículas. Esse nível de conhecimento é um construto teórico resultado da moderna unificação do conhecimento químico teórico e experimental (Hoffman; Laszlo, 1991). Nessa dimensão do conhecimento, os signos resultam de uma composição de palavras, figuras, analogias e metáforas. Em aulas de Química, os professores se

referem a esse nível de conhecimento geralmente durante explicações sobre transformações ou propriedades químicas. Quando o professor fala sobre colisões entre moléculas

numa aula sobre cinética de partículas, é comum a apresentação de figuras nas quais existam partículas de formas variadas colidindo umas contra as outras. O professor não se refere a uma experiência vivida diretamente pelo estudante, que seria a

visualização das partículas, mas utiliza analogias e metáforas para se aproximar do conhecimento pretendido. Esse é o tipo de referência semiótica icônica, uma vez que o professor confia na relação de semelhança existente entre o objeto de conhecimento,

que seria o estudo das propriedades cinéticas de moléculas, e o signo apresentado aos estudantes.

Esse tipo de referência pode apresentar problemas, pois em toda analogia ou metáfora existem significados que

se deseja que os estudantes se aproximem, como a noção de descontinuidade da matéria, e existem outros significados que se deseja que os estudantes se afastem, como a coloração dos entes moleculares. Caso não seja tratado adequadamente, pode se tornar em uma fonte de conceitos alternativos quando a semelhança de propriedades entre o ícone e o objeto não é tomada como motor da significação e quando não se discute explicitamente quais são os significados corretos e os incorretos.

Essa propriedade da referência icônica nos coloca, ao mesmo tempo, uma limitação e um potencial para lidarmos com o conhecimento científico, uma vez que figuras, gráficos e esquemas se tornam universais justamente em função de sua múltipla capacidade de referência. Se a multiplicidade de referência abre um foco de disputa na negociação de significados, ela também nos faz lançar mão de outras formas de representação, com qualidades indicial e simbólica, para exatamente selecionar uma propriedade em particular, colocando em movimento os três motores da significação. Ou seja, nas situações de ensino, a relação de semelhança entre o ícone e o objeto é fonte de disputa entre o conjunto de critérios adotados pelo professor, que é apoiado no conhecimento oficial, e o conjunto de critérios adotados pelos estudantes. Essa mesma multiplicidade potencializa a criatividade do

**Nas situações de ensino, a relação de semelhança entre o ícone e o objeto é fonte de disputa entre o conjunto de critérios adotados pelo professor, que é apoiado no conhecimento oficial, e o conjunto de critérios adotados pelos estudantes**

**A dimensão submicroscópica do conhecimento químico trata do nível molecular dos fenômenos químicos, como o movimento e a interação das partículas**

estudante para estabelecer vínculos entre três formas de representação de modo a construir interpretações sobre o fenômeno que se aproximem do conhecimento oficial. Se o ícone é fonte para elaboração de significados diversificados, é justamente essa característica que faz dele um signo particularmente útil para o ensino.

Existe caráter simbólico quando se trabalha com a dimensão submicroscópica, já que na situação de sala de aula observa-se um esforço por parte dos professores para fazer referência a construtos formados nas mentes dos estudantes. Podemos citar como exemplo de representação, com qualidade simbólica, quando o professor, em uma aula sobre os estados físicos da matéria, procura exemplificar a proximidade relativa dos átomos no estado de agregação sólido da matéria. O professor pode evocar oralmente como exemplo um recipiente contendo pequenas esferas (experimento de pensamento), de forma a exemplificar a pouca movimentação relativa entre os átomos comparada aos outros estados de agregação da matéria.

O caráter indicial em representações da dimensão submicroscópica do conhecimento químico deve ser explorado com cautela na sala de aula. Isso porque as representações dessa dimensão do conhecimento químico não apontam (pelo menos não deveriam apontar) diretamente para nenhum objeto conhecido no mundo real dos estudantes ou de qualquer ser humano. Ao contrário, o objeto teórico do mundo no nível molecular deverá ser construído ao longo do curso de Química, a partir de propriedades e conceitos que vão sendo aos poucos adicionados aos já existentes. Dessa forma, existe uma inconsistência conceitual caso a utilização de objetos moleculares concretos ou virtuais aponte diretamente para objetos concretos do mundo sensível à percepção humana. Pelo

contrário, no uso de tais objetos, deve ser enfatizado o caráter icônico de semelhança e analogia com as propriedades de moléculas e átomos e não um caráter indicial, para que os estudantes não pensem

que os átomos têm cores ou que as ligações químicas são bastões. Caso exista caráter indicial ao se utilizar os signos dessa dimensão, isso se constituirá num problema em que incorrerão erros conceituais profundos, já que sempre que for

feita referência a ela, a atenção do estudante será levada para as figuras e formas concretas e não para as funções que elas desempenham na construção de interpretações do fenômeno.

Dessa forma, quando os professores se referem verbalmente à dimensão submicroscópica do conhecimento, em alguns casos, as palavras promovem seus significados devido à semelhança existente entre as figuras presentes nas metáforas e o modelo de partículas atualmente aceito e, em outros casos, elas o fazem com base nos construtos mentais dos estudantes. Nesse caso, existe possibilidade de confusão entre essas duas referências porque os estudantes podem não saber se o professor está se referindo às semelhanças icônicas ou ao construto teórico

simbólico que se espera existir em sua mente ou mesmo se a referência feita tem qualidade indicial. Os professores, nesse caso, fazem referência a duas componentes virtuais em uma mesma dimensão do conhecimento. Também nesse caso, a vontade dos

professores é que durante as atividades de ensino, nessa dimensão do conhecimento, os estudantes dependam cada vez menos de referências icônicas e que elas sejam transfor-

madas em construtos teóricos capazes de serem acessados por meio da referência simbólica do interpretante.

A dimensão simbólica do conhecimento químico trata das representações qualitativas, utilizando notações, terminologias e simbolismos especializados, e também trata das representações quantitativas, quando são utilizados gráficos e equações matemáticas. Esse nível de conhecimento é fruto da experiência acumulada dos químicos por meio de práticas experimentais e teóricas, e também de congressos mundiais onde são convenionadas as melhores formas de notação. O signo a ser compartilhado pelo professor é composto de palavras, notações e equações, como no caso de uma aula em que há resolução de exercícios de cálculo de concentração de soluções. Esses signos compostos, por sua vez, significam grandezas, leis e construtos teóricos, freqüentemente compartilhados pelos significados em torno de conceitos matemáticos. Em aulas de Química, os professores se referem a essa dimensão do conhecimento durante a execução de procedimentos teóricos utilizando equações, grandezas e leis como, por exemplo, quando resolvem problemas teóricos junto com os estudantes.

Quando o professor resolve um exercício de cálculo de concentração de solução de forma dialogada em sala de aula, são comuns as referências às grandezas e às leis na forma

de notações especializadas e equações antes, durante e depois da resolução. Vamos tomar como exemplo a resolução de um exercício na qual a concentração de uma substância dependa da temperatura da solução e que seja necessário converter

o valor de concentração em massa para concentração molar. Para resolver o exercício, o professor lança mão dos três tipos de referência semiótica. A referência de qualidade icônica se

**O caráter indicial em representações da dimensão submicroscópica do conhecimento químico deve ser explorado com cautela, já que as representações dessa dimensão do conhecimento químico não apontam diretamente para nenhum objeto conhecido no mundo real**

**A dimensão simbólica do conhecimento químico trata das representações qualitativas, utilizando notações, terminologias e simbolismos especializados, e também trata das representações quantitativas, quando são utilizados gráficos e equações matemáticas**

faz presente quando gráficos são utilizados para se chegar a uma conclusão, seja por meio de semelhança geométrica ou algébrica. O signo, na forma de gráfico, por exemplo, promove significação pelo simples fato de existir semelhança visual ou de propriedades entre ambos. Em gráficos cartesianos, a semelhança com o objeto, no caso uma grandeza como a temperatura, ocorre na medida em que o aumento ou a diminuição da grandeza acompanha o aumento ou a diminuição do valor da abscissa ou da ordenada. Quando a atenção dos estudantes é direcionada para tal

**Ao terminar de efetuar o cálculo da concentração junto com os estudantes e escrever o valor final da concentração na forma 'M = 2,0 mol/L', o pensamento do estudante será levado de volta ao significado inicial da letra 'M'**

semelhança na dimensão macroscópica do conhecimento químico, a promoção do significado ocorre por meio de qualidade semiótica icônica.

A referência indicial também está presente nesse exemplo de resolução de exercícios, quando se representam grandezas por meio de letras ou símbolos especiais. Quando o professor estabelece em uma aula que a letra 'M' maiúscula se refere à concentração molar, ao terminar de efetuar o cálculo da concentração junto com os estudantes e escrever o valor final da concentração na forma 'M = 2,0 mol/L', o pensamento do estudante será levado de volta ao significado inicial da letra 'M', no caso concentração molar. Apesar de durante a resolução algébrica do exercício o pensamento dos estudantes provavelmente estar voltado para o algoritmo de resolução em um determinado momento, geralmente ao final da resolução, seu pensamento será levado ao significado do cálculo dentro do contexto da Química. Essas letras ou símbolos recebem seus significados porque estão simplesmente indicando a existência das grandezas, o que configura a significação de qualidade indicial.

E a referência de qualidade simbólica está presente quando se lança mão de conceitos e idéias já dominados pelos estudantes para a resolução do problema. Em nosso problema de

resolução de exercícios de concentração, podemos citar como exemplo a exemplificação do processo de solubilização de determinado sólido solúvel em água como, por exemplo, cloreto de sódio. Tão logo o professor inicie a descrição da adição de um sólido branco em água, a mente dos estudantes será facilmente levada a imaginar uma cena parecida, não se referindo a

uma situação específica, mas a significados já dominados pelos estudantes como água, sal de cozinha, recipiente vítreo, objeto para agitar a solução e outros. Nesse caso, o conceito de que sal de cozinha se dissolve em água é

plenamente conhecido por estudantes do Ensino Básico, e pode ser acessado pelos professores por meio de referências exclusivamente verbais para dar significação de qualidade simbólica no contexto da aula de Química. Assim, a exemplificação do processo de solubilização de um sal promove seu significado a partir de relações com outras palavras e outros conceitos conhecidos dos estudantes (caráter simbólico), e não por alguma semelhança presente no próprio signo (caráter icônico) ou por estar este exemplificando um caso específico do objeto de conhecimento (caráter indicial).

Dessa forma, quando os professores se referem à dimensão simbólica do conhecimento, algumas vezes as palavras promovem seus significados por indicar a existência de algo; outras vezes, devido à semelhança existente entre as figuras presentes nas metáforas e os modelos atualmente aceitos; e em outros casos, as palavras promovem seus significados pela relação com construtos teóricos. Nesse caso, a possibilidade de confusão entre os três tipos de qualidade semiótica é grande, e os estudantes certamente ficarão confusos por não saberem qual tipo de qualidade (icônica, indicial ou simbólica) é o mais apropriado para que as palavras e representações diversas tenham significado. O caminho mais curto encontrado pelos estudantes para a

resolução de problemas é tratar essa dimensão do conhecimento químico de uma forma familiar a eles: a matemática. Os professores, nesse caso, fazem referência aos significados com o uso das três qualidades semióticas em uma mesma dimensão do conhecimento. Também nesse caso, a vontade dos professores é que, durante as atividades de ensino nessa dimensão do conhecimento, os estudantes dependam cada vez menos de referências icônicas, indiciais e simbólicas simples, e que estas sejam transformadas em construtos teóricos capazes de serem acessados por meio de referências simbólicas complexas.

### **Os signos e as representações químicas computacionais: O Ensino de Química**

Tendo indicado os principais elementos de ligação entre a teoria semiótica de Peirce e as situações de Ensino de Química, vamos nos concentrar agora na confluência desse ensino com as interfaces computacionais. O desenvolvimento do computador tem influenciado fortemente seu uso na escola, de forma que a miniaturização pode ser considerada como um dos fatores que possibilitaram a popularização dessa tecnologia ao permitir o acesso dos usuários domésticos ao processamento e armazenamento massivo de informação no computador de mesa. Além disso, os efeitos produzidos pelas interfaces gráficas vêm sendo aprimorados desde a criação de ambiente de janelas. Com isso, a comunicação entre usuário e computador é feita por meio de ícones, e a execução dos aplicativos não exige conhecimento de programação por parte do aluno (Giordan, 2005).

Quando as representações são mediadas pelos recursos gráficos oferecidos atualmente pelo computador, a relação entre os signos e seus objetos, em algumas dimensões da realidade química, pode ser profundamente modificada. Os recursos de animação de imagens e simulação oferecidos pelo uso dos computadores podem trazer um novo caminho de construção do conhecimento na sala de aula de Química.

No nível macroscópico, os signos

geralmente se fazem presentes na sala de aula de Química ou laboratório didático pelo emprego das palavras como forma de referência aos fenômenos ou da percepção destes por meio dos sentidos como a visualização, o cheiro ou a variação de temperatura, por exemplo.

Quando se utiliza o computador, no entanto, o caráter icônico das representações nessa dimensão do conhecimento químico passa a ter potencial de uso benéfico ao ensino. O próprio fenômeno a ser estudado pode ser representado em uma animação sem a necessidade de os estudantes o vivenciarem em laboratório. Em alguns casos, isso é necessário devido à periculosidade do fenômeno, como no caso das transformações químicas que ocorrem em vulcões em erupção. Com isso, o caráter icônico estará presente de forma a tornar mais claro um experimento de pensamento que não foi vivenciado pelo estudante. Quando o experimento de pensamento é apenas narrado como, por exemplo, as mudanças de fase da água, este pode ser imaginado em alguns casos, uma vez que o estudante conhece pelo menos a maior parte dos seus componentes como cubos de gelo, água na forma líquida e vapor d'água. Em outros casos, o experimento pode não ser tão facilmente imaginável, como no caso de fenômenos de transmutação nuclear que ocorrem em reatores atômicos. Ao se utilizar uma animação, a imaginação é auxiliada pela visualização gráfica. Além disso, o foco de visualização do estudante pode ser direcionado corretamente para as propriedades e suas representações correspondentes como, por exemplo, a estabilização da temperatura durante mudanças de fase e a forma gráfica da representação equivalente. A utilização de recursos computacionais para visualização de representações dessa dimensão do conhecimento químico possibilita a visualização de características importantes, do ponto de vista do conhecimento químico, de fenômenos de difícil visualização direta.

No nível submicroscópico, os signos se fazem presentes nas representações imagéticas, além do uso das palavras como forma de referência aos

construtos teóricos próprios dessa dimensão do conhecimento químico. O caráter icônico dessas representações está presente na sala de aula de Química geralmente na forma de figuras estáticas que simbolizam os átomos e suas várias formas de representação e agrupamento no caso de livros didáticos e modelos atômicos concretos. Mesmo quando o computador é utilizado como meio de representação, é freqüente a utilização de imagens em que a natureza particulada da matéria é apresentada em um formato no qual muitas características próprias desse nível de representação são passadas por alto.

A utilização do computador pode ser feita de forma que a aparência sugerida da qualidade icônica das representações nessa dimensão do conhecimento químico traga mais benefícios ao ensino da Química. Os recursos gráficos computacionais, amplamente disponíveis na atualidade, aliados à utilização de *softwares* de código aberto, junto com o conhecimento sobre simulações por mecânica e dinâmica molecular, podem apresentar com clareza muitas peculiaridades e propriedades inerentes aos processos relativos a interações dinâmicas no nível de partículas atômicas como, por exemplo, a movimentação relativa entre as partículas devido a colisões intermoleculares e a própria temperatura. Dessa forma, o caráter icônico desse tipo de representações pode ser utilizado para construir conhecimento que ou não seria possível de outra forma ou seria muito mais difícil utilizando apenas palavras e imagens estáticas. A utilização de recursos computacionais para visualização de representações dessa outra dimensão do conhecimento químico pode trazer para os estudantes uma perspectiva mais alinhada com o conhecimento científico atualmente aceito.

Além das contribuições em cada dimensão do conhecimento químico, o computador traz ainda a possibilidade de integração de representações dos

níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico ou de composições de duas dessas dimensões do conhecimento, com o objetivo de propiciar a elaboração de significados por meio de representações, principalmente do nível simbólico do conhecimento químico. Nesse sentido, muitos ambientes virtuais de Ensino de Química têm sido desenvolvidos na última década com o objetivo de permitir que o estudante visualize de forma integrada as várias representações do conhecimento químico (Gois, 2007).

No desenvolvimento do programa Construtor (Giordan e Gois, 2005), procuramos associar duas formas distintas de signos próprios da Química. Um deles, conhecido como fórmula estrutural condensada, está relacionado com a dimensão simbólica do conhecimento químico. O outro, o qual

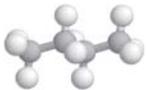
é construído sob demanda por meio do programa Construtor, é um objeto molecular virtual tridimensional, o qual está relacionado com a dimensão submicroscópica do conhecimento químico.

A partir do uso do programa computacional Construtor (Gois, 2007), estudantes de Ensino Médio podem criar estruturas tridimensionais virtuais a partir de fórmulas estruturais condensadas como  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$  (Tabela 1). Com essa ferramenta, os estudantes podem visualizar as características da dimensão submicroscópica da matéria, que é o objeto molecular virtual resultante a partir de uma representação da dimensão simbólica, que é a própria fórmula estrutural condensada.

Ou seja, a partir de uma representação com qualidade fortemente simbólica ou convencional (fórmula estrutural condensada), o estudante tem a possibilidade de elaborar significado mais apropriado, dentro do atual paradigma da natureza particulada da matéria, com o auxílio da mediação de uma representação com qualidade icônica, de significação por meio de semelhança, no caso o objeto molecular virtual (Tabela 1).

**A utilização do computador pode ser feita de forma que a aparência sugerida da qualidade icônica das representações nessa dimensão do conhecimento químico traga mais benefícios ao ensino da Química**

Tabela 1: A tabela relaciona, por meio do exemplo de duas diferentes representações de uma molécula de butano (primeira linha), o tipo da representação (segunda linha), a dimensão do conhecimento químico associado (terceira linha) e a qualidade semiótica da significação (quarta linha).

Representação	Tipo de representação química	Categoria	
		Dimensão do conhecimento químico	Qualidade Semiótica
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	Fórmula estrutural condensada	Simbólica	Simbólica
	Objeto molecular virtual tridimensional	Submicroscópica	Ícônica

A vontade dos professores de Química é que sempre pudessem utilizar objetos moleculares, virtuais ou concretos, para suas aulas sobre estrutura e propriedades da matéria e suas transformações. No entanto, por motivos de praticidade, são utilizadas as representações simplificadas, com letras e números, como a fórmula estrutural condensada da Tabela 1. Apesar do uso de representações simplificadas por motivos de continuidade, é necessário que os significados dessas representações se tornem disponíveis aos estudantes. O uso do programa Construtor pode auxiliar o estudante na elaboração desses significados, já que ele pode gerar objetos moleculares virtuais, de significação com qualidade icônica, a partir de representações com qualidade simbólica ou convencional. Ao utilizar esse programa, o estudante pode elaborar significados com meios mediacionais mais sofisticados – os objetos moleculares –, de forma que, quando ele se depara com representações da dimensão simbólica do conhecimento químico, estas possam ser facilmente relacionadas com o significado da dimensão submicroscópica.

### Síntese

Conforme dito no início, tínhamos como objetivo neste texto trazer uma compreensão mais aprofundada a respeito dos processos de significação de representações químicas na sala de

aula a partir da contribuição da teoria semiótica de Peirce. Conforme descrito acima, em cada dimensão do conhecimento químico prevalecem determinadas qualidades semióticas de significação. No nível macroscópico do conhecimento químico, prevalecem as relações indiciais e simbólicas. No nível submicroscópico, são encontradas predominantemente as relações icônicas e simbólicas de significação. No nível simbólico do conhecimento químico, no entanto, são encontradas todas as qualidades de significação semiótica, ou seja, indiciais, icônicas e simbólicas. Com isso, a dimensão simbólica do conhecimento químico certamente oferece maior dificuldade de compreensão dentro do que atualmente é proposto como conhecimento químico oficialmente aceito.

Também tínhamos como objetivo discutir a contribuição das representações computacionais nos processos de significação na sala de aula de Química. Conforme visto, as possibilidades de representação das dimensões do conhecimento químico atualmente veiculadas por intermédio dos computadores permitem visualizar fenômenos de difícil acesso ou mesmo de fenômenos que não poderiam ser visualizados de outra maneira. Além disso, com o uso do computador, é possível visualizar de forma dinâmica e integrada as representações pertinentes a cada dimensão do conhecimento químico, o que possibilita uma

compreensão holística das representações e dos conceitos associados.

**Jackson Gois** (gois@ufpr.br), bacharel e licenciado em Química pelo Instituto de Química (IQ) da Universidade de São Paulo (USP), mestre em Ensino de Química pela USP, é docente da Universidade Federal do Paraná – Campus Litoral. **Marcelo Giordan** (giordan@fe.usp.br), bacharel e mestre em Química, doutor em Ciências pelo IQ-UNICAMP, Livre-docente em Educação pela Faculdade de Educação (FE) da USP, é docente da FE-USP.

### Referências

GIORDAN, M. *Uma perspectiva sociocultural para os estudos sobre elaboração de significados em situações de uso do computador na Educação em Ciências*. Tese de Livre-Docência, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

\_\_\_\_\_. O computador na educação em ciências: breve revisão crítica acerca de algumas formas de utilização. *Ciência e Educação*, v. 11, n. 2, p. 279-304, 2005.

GIORDAN, M.; GOIS, J. Telemática educacional e Ensino de Química: considerações em torno do desenvolvimento de um construtor de objetos moleculares. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, v. 3, n. 2, p. 41-59 2005.

GOIS, J. *Desenvolvimento de um ambiente virtual para estudo sobre representação estrutural em Química*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2007.

HOFFMAN, R.; LASZLO, P. Representation in Chemistry. *Angewandte Chemie*, v. 30, p. 1-16, 1991.

NÖTH, W. *Panorama da semiótica: de Platão a Peirce*. 4ª ed. São Paulo: Annablume, 2005.

PEIRCE, C.S. *Semiótica*. 3ª ed. São Paulo: Perspectiva, 2005.

\_\_\_\_\_. *Writings of Charles S. Peirce: A Chronological Edition, V. 1*. Peirce Edition Project (Eds.). Indianapolis; Bloomington: Indiana University Press, 1981.

SANTAELLA, L. *O que é semiótica*. São Paulo: Brasiliense, 2005.

SEBEOK, T.A.; SEBEOK, J.U. *Sherlock Holmes y Charles Sanders Peirce: el método de la investigación*. Barcelona: Paidós, 1987.

**Abstract:** *Semiotics in Chemistry: Peirce's Sign Theory to Comprehend Representation* – In this work a discussion about meaning processes of chemical representation in classrooms based on the contributions of Charles Peirce Semiotics theory is presented. The discussion is extended to the contributions of computational representations in meaning processes in Chemistry classrooms. In this discussion we intend to base the development of Chemistry learning virtual environments in a way that allows us to join epistemological aspects of Chemistry with the foundations of the sign theory, so that meaning promotion in classrooms can be problematized.

**Keywords:** Semiotics, structural representation, meaning