

INVESTIGAÇÃO DE MODELOS MENTAIS DINÂMICOS SOBRE A DISSOLUÇÃO DE NaCl POR MEIO DA ELABORAÇÃO DE ANIMAÇÕES

INQUIRY ON DYNAMIC MENTAL MODELS ABOUT THE DISSOLUTION OF NaCl THROUGH ELABORATION OF ANIMATIONS

Gustavo Bizarria Gibin¹
Luiz Henrique Ferreira²

¹Universidade Federal de São Carlos/ Departamento de Química, gustavogibin@yahoo.com.br

²Universidade Federal de São Carlos/ Departamento de Química, ferreira@dq.ufscar.br

Resumo

Neste estudo foram investigados os modelos mentais de alunos da primeira série do Ensino Médio sobre o conceito de solubilidade. O referencial teórico adotado é a teoria de modelos mentais de Johnson-Laird. A coleta de dados foi realizada por meio da elaboração de uma animação em grupos para representar o fenômeno em nível submicroscópico. Basicamente foram observados três modelos sobre a dissolução do NaCl em água, como a separação dos íons, a recristalização e a hidratação do cristal. Apenas um grupo considerou a orientação espacial entre as espécies, entretanto, de um modo inadequado. A metodologia se mostrou interessante para a investigação de modelos mentais de processos químicos dinâmicos.

Palavras-chave: Modelos mentais, animações, soluções químicas, ensino de Química.

Abstract

In this study it was investigated the mental models of students in the first series of the high school about the concept of solubility. The theoretical referential adopted is the theory of mental models by Johnson-Laird. The data collection was carried out by means of the elaboration of an animation in groups to represent the phenomenon in submicroscopic level. Basically it was observed three models about the dissolution of the NaCl in water, as the detachment of the ions, the recrystallization and the hydration of the crystal. Only a group considered the spatial orientation between the species, however, in an inadequate way. The methodology was shown interesting for the inquiry of mental models of dynamic chemical processes.

Keywords: Mental models, animations, chemical solutions, teaching of Chemistry.

O QUE SÃO MODELOS MENTAIS?

O conceito de representação é central para a psicologia cognitiva e para a investigação em ensino de Ciências. Segundo Moreira et al. (2002, p. 38), “*uma representação é qualquer notação, signo ou conjunto de símbolos que representa alguma coisa que é tipicamente algum aspecto do mundo exterior ou de nosso mundo interior (ou seja, de nossa imaginação) em sua ausência.*” A palavra lápis ou o desenho de um lápis são formas de representações externas que permitem imaginar o objeto em sua ausência. Na Química, foi construída uma linguagem para representar as substâncias e todos os fenômenos que ocorrem.

As representações internas ou mentais são maneiras de reconstruir o mundo externo em nossas mentes (MOREIRA et al., 2002). As representações externas são formas de externalizar as nossas concepções.

A teoria elaborada por Johnson-Laird (1983) foi um marco para a psicologia cognitiva e foi empregada como referencial teórico neste trabalho. Johnson-Laird (1983) realiza uma inovação no campo da Psicologia Cognitiva ao introduzir o conceito de modelo mental, pois havia uma forte discussão entre os pesquisadores da área sobre qual forma de representação mental seria a melhor: a proposicional ou a imagética. Assim, o construto modelo mental de certa forma consegue integrar elementos das duas vertentes, pois o uso de proposições permite a construção de um modelo mental e a imagem é a visualização de um modelo mental.

Johnson-Laird (1983, p. 165) propõe a existência de três grandes formas de representação interna: representações proposicionais, imagens e modelos mentais. Assim: “*Representações proposicionais são cadeias de símbolos que correspondem à linguagem natural, modelos mentais são análogos estruturais do mundo e imagens são visualizações de modelos sob um determinado ponto de vista.*”

A linguagem mental mapeia uma representação proposicional em termos de modelos mentais, ou seja, “*representações proposicionais são interpretadas com respeito aos modelos mentais*” (JOHNSON-LAIRD 1983, p. 156). As representações proposicionais podem ser consideradas como formas de auxílio na construção de modelos mentais. Os modelos mentais, assim como as imagens, são altamente específicos e essa característica os diferencia das representações proposicionais.

As imagens são formas de visualização dos modelos mentais. Dessa forma, as imagens assumem um papel central na investigação sobre modelos mentais, principalmente no ensino de Ciências e de Química.

Em resumo, os modelos mentais possuem um papel central na representação interna de objetos, estados de coisas, sequências de eventos, conceitos, sistemas, nos permitem fazer inferências e predições, entender fenômenos e sistemas.

É interessante notar que não existe um único modelo mental que representa um conceito ou sistema, podem existir vários, e, além disso, podem existir muitos modelos mentais que o represente de um modo ótimo (JOHNSON-LAIRD, 1983). Por exemplo, em uma sala de aula é possível detectar inúmeros modelos mentais diferentes e inadequados sobre a estrutura do átomo, como também é possível encontrar modelos mentais adequados e distintos sobre este conceito.

De maneira mais geral, pode-se apontar como características principais dos modelos mentais as seguintes: são incompletos e a habilidade das pessoas em “executar” seus modelos é muito limitada; os modelos são instáveis, geralmente porquê as pessoas esquecem de detalhes, principalmente quando não são executados durante um elevado período de tempo; os modelos não apresentam fronteiras bem definidas, pois geralmente as pessoas confundem conceitos e processos semelhantes; os modelos podem ser “não-científicos”, ou seja, eles podem revelar comportamentos “supersticiosos” e as crenças das pessoas sobre o conceito em questão e,

finalmente, os modelos mentais elaborados tendem a ser parcimoniosos, ou seja, são muito simplificados e econômicos (NORMAN, 2009).

Assim, não se deve esperar que os alunos apresentem modelos mentais elegantes e precisos, mas sim confusos, incompletos e com problemas.

No entanto, os modelos mentais estão em constante evolução. As pessoas constroem modelos mentais de um sistema ou de um conceito quando interagem com o sistema em estudo. Os modelos mentais não necessitam ser precisos, mas devem ser funcionais (NORMAN, 2009). As aulas em que são trabalhados experimentos são momentos adequados para promover uma investigação sobre os modelos mentais dos estudantes. Dessa maneira, os alunos interagem com um sistema real e tem a possibilidade de tentar explicar os fenômenos químicos, e dessa forma expressar os seus modelos mentais.

Existem duas grandes categorias de modelos mentais: os modelos mentais físicos e os conceituais (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 422). Há uma importante diferença entre eles, pois os modelos físicos representam o mundo físico enquanto modelos conceituais representam conceitos mais abstratos, como silogismos. Além disso, dentre os modelos físicos, existem seis grandes tipos:

O modelo mais simples é denominado de modelo relacional. Um modelo relacional pode ser definido como um ‘quadro’ estático que consiste de um conjunto finito de elementos que representam um conjunto finito de entidades físicas, um conjunto finito de propriedades dos elementos representando as propriedades físicas das entidades, e um conjunto finito de relações entre os elementos representando relações físicas entre as entidades.

Um modelo espacial consiste em um modelo relacional no qual a única relação existente entre as entidades é de natureza espacial.

Um modelo temporal é definido como uma sequência de ‘quadros’ espaciais (de uma dimensionalidade constante) que ocorre em uma ordem temporal semelhante à ordem temporal dos eventos. Ou seja, um modelo temporal apresenta uma ordem temporal de eventos, mas não é necessariamente linear, e a temporalidade também não é necessariamente contínua.

Um modelo cinemático consiste em um modelo temporal que é psicologicamente contínuo, ou seja, é como um filme que é “rodado” em nossa mente e os elementos apresentam movimentos contínuos.

Um modelo dinâmico é um modelo cinemático e, além disso, apresenta relações entre alguns quadros, que representam relações de causa e efeito entre os eventos representados.

A imagem consiste de uma representação das características visíveis de um modelo espacial tridimensional ou de um modelo cinemático/dinâmico. Assim, a imagem corresponde a uma visualização de um modelo mental.

MODELOS MENTAIS DE CONCEITOS QUÍMICOS

O processo de compreensão da Química envolve três diferentes níveis representacionais: macroscópico, submicroscópico e simbólico (JOHNSTONE, 1993, 2000). No nível de representação macroscópico os fenômenos são observáveis e no submicroscópico a Química é explicada por meio do arranjo e movimento de moléculas, átomos, íons, elétrons ou outras espécies subatômicas. A Química no nível simbólico refere-se a representações simbólicas de átomos, moléculas, por meio de símbolos químicos, como por exemplo, fórmulas, equações e estruturas (WU et al., 2001). Portanto, para compreender a Química, é necessário conhecer esses níveis de representação e estabelecer relações adequadas entre eles.

A utilização de imagens pode ser interessante para o ensino de Química, pois estudos têm mostrado que estudantes que apresentam a habilidade de visualizar o fenômeno químico no nível submicroscópico desenvolvem boa compreensão conceitual (NAKHLEH, 1993a, 1993b; PASELK, 1994). Os estudantes possuem dificuldades de compreensão nos diferentes níveis de

representações do conhecimento químico. Eles têm dificuldades com as representações submicroscópica e simbólica porque são invisíveis e abstratas, e o pensamento dos estudantes é construído com base em informações sensoriais (BEN-ZVI *et al.*, 1987). Além disso, Gillespie (1997, p. 484) aponta que: “*Os estudantes não conseguem estabelecer relações apropriadas entre o nível macro e o submicroscópico*”. Assim, é interessante estudar as dificuldades apresentadas pelos alunos nas diferentes formas de representação, e além disso, entender como eles constroem seus modelos sobre conceitos químicos.

O uso de animações que evidenciam o nível submicroscópico do conhecimento químico e demonstrações em vídeo tem feito com que estudantes consigam relacionar melhor os níveis de representação simbólico, macroscópico e submicroscópico e melhorar a compreensão conceitual, além da habilidade de criar modelos mentais dinâmicos (RUSSEL *et al.*, 1997). Os modelos mentais apresentam uma relação íntima com as imagens, por isso o uso de imagens no ensino de Química apresenta uma elevada importância.

Na Química, os modelos mentais são estabelecidos pela relação entre os níveis macroscópico e submicroscópico. Na verdade, o nível de representação submicroscópico do conhecimento químico corresponde a um modelo criado para tentar explicar a natureza macroscópica da matéria. Os átomos, e por consequência as moléculas, íons, elétrons, enfim, são modelos elaborados para descrever a natureza da matéria bem como os fenômenos associados a esta. O nível representacional simbólico praticamente não auxilia na construção de um modelo submicroscópico, pois refere-se basicamente à linguagem química. No entanto, é possível que o nível simbólico forneça algumas informações quantitativas sobre as equações químicas (índices e coeficientes) para que sejam incluídas no modelo mental.

Portanto, ao procurar desenvolver nos estudantes os modelos mentais de Química é importante iniciar as atividades didáticas por meio da observação de algo concreto, no nível macroscópico, como o desenvolvimento de um experimento, por exemplo. Em seguida, é importante empregar imagens, vídeos ou modelos moleculares para estimular os alunos a raciocinarem em nível de representação submicroscópico e elaborar um modelo mental mais adequado do sistema (GIBIN, 2009).

QUESTÃO DE PESQUISA

Quais são os modelos mentais (cinemáticos/dinâmicos em nível submicroscópico) espontâneos de alunos de Ensino Médio sobre a dissolução do cloreto de sódio em água?

OBJETIVO

Analisar os modelos mentais cinemáticos ou dinâmicos espontâneos em nível submicroscópico dos estudantes de Ensino Médio sobre o processo de dissolução do NaCl em água.

METODOLOGIA

Foi realizado um minicurso, com duração de 40 horas, para alunos de primeiras séries do Ensino Médio sobre o conceito de soluções. É importante salientar que os estudantes não estudaram em sala de aula este conceito antes da realização da pesquisa, pois o objetivo principal foi estudar os modelos mentais dos estudantes e não os modelos dos professores que possam ter sido apropriados pelos alunos. O curso foi realizado nas dependências do Departamento de Química da UFSCar, no Laboratório de Ensino e Aprendizagem de Química (LENAQ). Durante o curso foram utilizadas imagens estáticas e animações de representações em nível submicroscópico, modelos moleculares e foram também realizados experimentos sem a

correspondente explicação dos fenômenos. E, além disso, foi requisitado que os estudantes expressassem seus modelos mentais acerca dos fenômenos abordados nos experimentos.

Segundo Moreira (1996), para realizar um estudo sobre os modelos mentais dos alunos, é preciso agir de forma indireta, ou seja, investigar os modelos mentais por meio do que é expresso pelos alunos, seja verbalmente, simbolicamente ou pictoricamente. Portanto, o uso de depoimentos dos estudantes, de testes escritos dissertativos com ou sem imagens pode ser proposto como metodologia visando à coleta de dados em uma investigação sobre modelos mentais. Entretanto, é possível surgir dificuldades metodológicas ao se utilizar testes com lápis e papel para levantar os modelos mentais dos estudantes. Assim, o uso de animações pode minimizar este problema (ANDERSON *et al.*, 2009). Portanto, a elaboração de animações pelos próprios alunos foi utilizada como recurso para coleta de dados. O uso de animações como ferramenta metodológica para a investigação dos modelos mentais é interessante, pois as animações são similares aos modelos mentais cinemáticos/dinâmicos que são “rodados” na mente dos alunos. Portanto, a elaboração de animações em nível submicroscópico pelos alunos é adequada como ferramenta metodológica para investigar os modelos mentais sobre processos dinâmicos.

Antes de iniciar a coleta de dados, os estudantes elaboraram uma animação com um jogo de dominó por meio da técnica de stop-motion. Todos os estudantes participaram desta atividade, cujo objetivo foi apresentar a eles a técnica de stop-motion antes do início da coleta de dados. Na animação produzida, um jogo de dominó é montado “sozinho”.

Nesta etapa, uma única peça de dominó passa por uma sequência de movimentos descontínuos, porém com trajetória definida para que a mesma possa ser combinada com outra já utilizada no jogo. Para uma nova posição ocupada pela peça uma fotografia é produzida. Quando introduzida no jogo esta peça, o processo é retomado para outra peça de maneira que, uma a uma, todas as peças sejam utilizadas.

O resultado final, após a edição da animação, é similar ao que poderia ser descrito como um jogo entre dois jogadores invisíveis, ou fantasmas. O princípio utilizado é o mesmo que permite a produção de desenhos animados.

A definição apresentada por Werneck (2005) para a técnica de animação em stop-motion é “*o movimento criado a partir de imagens paradas*”. O autor complementa a definição de stop-motion:

A animação de stop-motion é conseguida quando se fotografam objetos quadro-a-quadro, que, exibidos na velocidade normal de projeção, criam a ilusão de movimento. Isso pode ser feito com bonecos, objetos, brinquedos, pessoas, etc... (WERNECK, 2005, p. 66)

Werneck (2005) ainda afirma que a técnica de animação de objetos inanimados e sem articulações é muito indicada para crianças que ainda não tiveram contato com as técnicas de animação em virtude da facilidade de domínio dessa técnica.

A coleta de dados foi organizada basicamente por meio de atividades em grupo. Inicialmente os alunos fizeram um experimento simples, a dissolução de 10g de NaCl em 100 ml de água. Em seguida, os grupos elaboraram animações utilizando a técnica de stop-motion para representar em nível submicroscópico o sistema estudado, a partir do modelo eleito pelos membros do grupo. A metodologia foi proposta de acordo com Gibin (2009), pois é importante partir de uma atividade que envolve o nível macroscópico para a elaboração dos modelos em nível submicroscópico. Foram fornecidas aos estudantes figuras impressas que representam as espécies químicas envolvidas, no caso a molécula de água, a estrutura cristalina do NaCl e os íons cloreto e sódio.

Após esta etapa, foram exibidas todas as animações, bem como a animação produzida pelo pesquisador. Ao fim da exibição das animações, todos os conceitos envolvidos na atividade foram amplamente discutidos e os estudantes puderam apresentar suas dúvidas.

ELABORAÇÃO DAS ANIMAÇÕES

As animações, incluindo a dos pesquisadores, foram produzidas por meio da técnica de animação tradicional (animação gráfica) e de stop-motion. A técnica de animação tradicional basicamente consiste em colocar em sequência uma série de imagens estáticas com a finalidade de criar a sensação do movimento. A técnica de animação em stop-motion basicamente utiliza o mesmo conceito, entretanto, as imagens podem ser provenientes de fotografias de objetos, de pessoas, entre outros.

As animações foram elaboradas por meio dos programas de ilustração Corel Draw 10[©] e de animação Macromedia Flash 5[©].

As animações com a técnica stop-motion, utilizadas para a coleta de dados, foram realizadas por meio da seguinte metodologia: inicialmente os estudantes desenhavam em uma folha de papel as posições que as espécies químicas iriam ocupar na tela e a trajetória que seria descrita por elas durante a animação. Em seguida, copiaram este esquema para uma transparência e a projetaram em um quadro de chapa de aço fixado na parede de uma sala, como pode ser visto na figura 1 (a). Os estudantes fixaram as figuras representativas das espécies químicas neste quadro, em suas posições iniciais indicadas pela projeção, de acordo com a figura 1 (b). As figuras possuíam um ímã de geladeira em seu verso, que possibilita a sua fixação e movimentação, conforme a figura 2. Os estudantes utilizaram uma máquina fotográfica digital para obter as fotografias correspondentes a cada posição. Finalmente, fizeram pequenos movimentos das figuras de acordo com a projeção da trajetória e tiravam as fotografias. Depois de concluída a etapa de produção das fotografias, o pesquisador utilizou o software Macromedia Flash 5[©] para dispor as fotos em sequência e gerar o arquivo de vídeo.

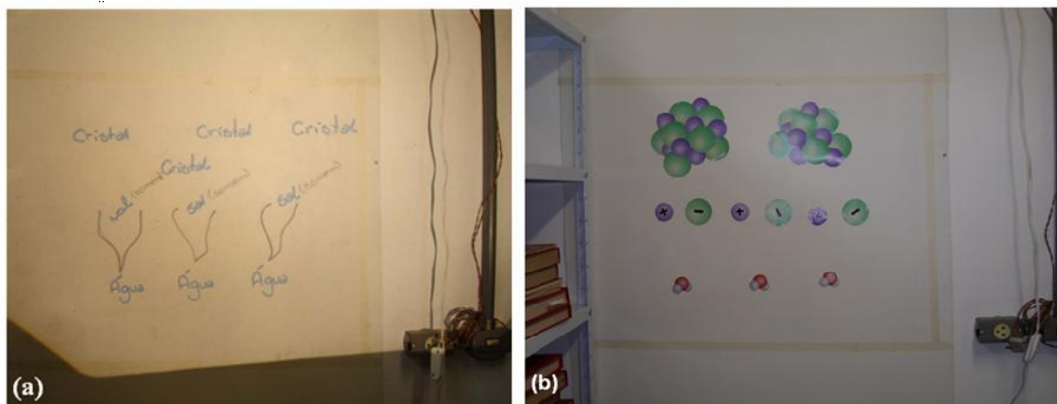


Figura 1: (a) Projeção da trajetória das representações das espécies químicas na animação e (b) placa de aço com as figuras fixadas.

Uma animação tradicional sobre o mesmo fenômeno foi produzida pelo pesquisador de modo semelhante. Cada quadro da animação foi produzido individualmente por meio do software Corel Draw 10. Foi utilizada a mesma técnica que os estudantes adotaram para a definição da trajetória das representações das espécies. Assim, com pequenos movimentos das figuras, todos os outros quadros foram gerados. Quando todos os quadros estavam prontos, o software Macromedia Flash 5[©] foi empregado para dispor as figuras em sequência e gerar a animação.

A animação tradicional foi elaborada com o objetivo de discutir as etapas mais importantes do modelo de dissolução do cloreto de sódio em água, como orientação espacial das espécies em função das cargas e polaridades, formação de uma esfera de hidratação em torno dos íons.

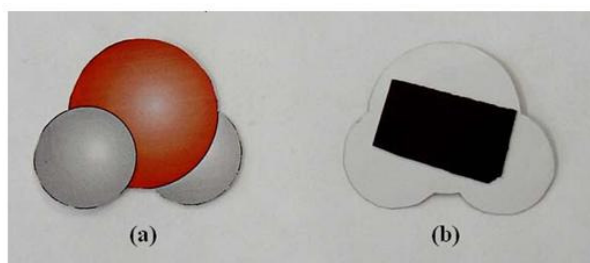


Figura 2: Representação da molécula de água (a) frente (b) verso com o ímã

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As animações produzidas pelos estudantes permitiram que seus modelos dinâmicos em nível submicroscópico fossem expressos e analisados. Os grupos eram compostos por três a cinco estudantes e foram montados sem interferência dos pesquisadores. É possível observar na tabela 1 os modelos mentais expressos nas animações produzidas pelos grupos.

Tabela 1: Dados sobre os modelos expressos nas animações produzidas em grupo.

Grupo	Processo de dissolução	Orientação espacial
1	Separação dos íons e posterior formação de cristais	Sem orientação
2	Separação dos íons	Com orientação inadequada
3	Cristais hidratados	Sem orientação
4	Íons livres presentes desde o início.	
5	Cristais e íons presentes no início, com formação de outro cristal.	
6	Separação dos íons	

Durante o minicurso foram discutidos os conceitos de polaridade de moléculas e suas interações intermoleculares. Assim, como Johnson-Laird (1983) propõe que os modelos mentais são constituídos por elementos (tokens), os elementos considerados para análise foram o processo de dissolução e a orientação espacial entre as espécies envolvidas.

Pode-se notar na tabela 1 que todos os grupos apresentaram modelos mentais dinâmicos distintos sobre a dissolução do NaCl. Além disso, somente o grupo 2 se preocupou com a orientação das moléculas em relação aos íons, embora sua proposta tenha sido inadequada. O grupo 1 expressou um modelo mental cinemático em que inicialmente ocorre a separação dos íons e na sequência ocorre a união de todas as espécies químicas. Evidencia-se neste caso que houve uma diversidade de modelos expressos pelos alunos, conforme propõe Johnson-Laird (1983).

Na figura 3 é representada a sequência reduzida de fotografias produzidas pelos alunos para a produção da animação. Pode-se perceber que inicialmente ocorre a separação dos íons, seguida da interação dos mesmos com as moléculas de água e por fim ocorre uma aglomeração entre os íons e as moléculas de água, o que representa, ainda que com falhas, o princípio de formação de esferas de hidratação. Não foi observada orientação espacial entre as moléculas e os íons em estudo. Johnson-Laird (1983) afirma que o modelo mental é importante para a representação e compreensão de sequências de eventos, como foi observado no exemplo citado acima.

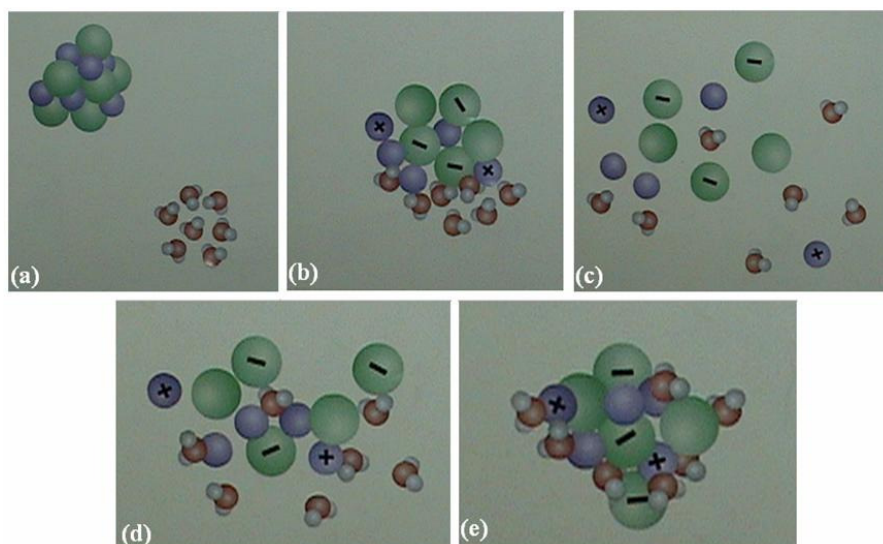


Figura 3: Sequência de imagens representando a dissolução de NaCl em água (Grupo 1)

O grupo 2 expressou em sua animação um modelo cinemático em que ocorre a separação dos íons e em seguida os mesmos são atraídos por moléculas de água. Os estudantes consideraram a polaridade das moléculas de água e as cargas dos íons, entretanto, de forma inadequada. Os alunos representaram os modelos em nível submicroscópico para representar o fenômeno, que é importante para a compreensão do conceito químico, como defende Johnstone (1993, 2000).

Pode-se observar na figura 4 que as moléculas de água se aproximam dos cristais, em seguida os íons interagem com as moléculas de água e o cristal desta forma se desfaz. Por fim, os íons envolvem as moléculas de água e passam a interagir entre si, formando um tipo de “cadeia”. É possível observar que existe uma orientação espacial entre as espécies, e que o oxigênio da molécula de água atrai os íons sódio e os átomos de hidrogênio da mesma molécula atraem os íons cloreto. O grupo considerou que os íons cloreto e sódio também se atraem, e assim é formada uma estrutura que se assemelha a uma “cadeia” entre as espécies químicas envolvidas. Neste caso, observa-se que ao contrário do modelo cientificamente aceito, a molécula de água é cercada pelos íons.

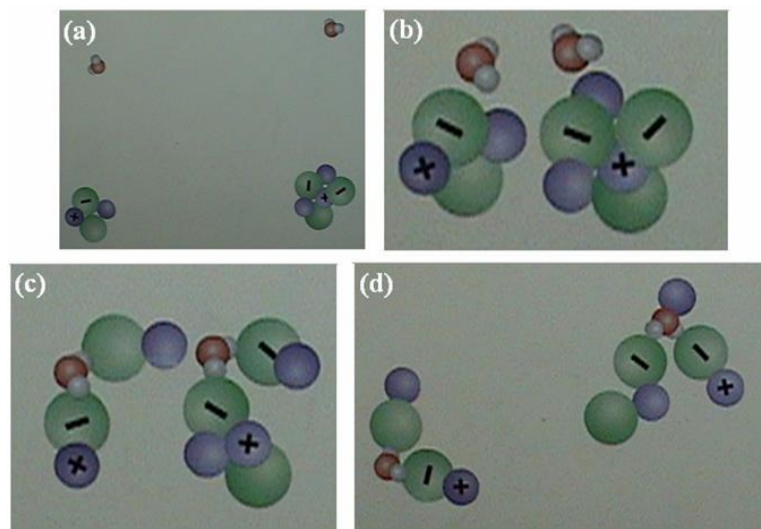


Figura 4: Sequência de imagens representando a dissolução de NaCl em água (Grupo 2)

Souza e Cardoso (2009) detectaram modelos mentais de alunos do curso de pós-graduação em Química que aparentemente coincidem com os expressos pelo grupo 2, como pode-se observar na figura 5.

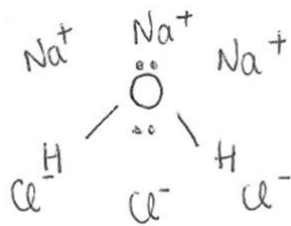


Figura 5: Representação da dissolução de NaCl em água por pós graduandos em Química analítica (SOUZA e CARDOSO, 2009).

É um fato muito preocupante que estudantes de pós-graduação da área de Química Analítica apresentem modelos mentais iguais aos de estudantes de primeira série do Ensino Médio que nunca estudaram o conceito de soluções químicas.

Uma das características dos modelos mentais apontadas por Norman (2009) é a inconsistência, no caso, em relação às representações macroscópica e submicroscópica. O grupo 3 apresentou um modelo confuso e inconsistente, em que desde o início existem íons livres e cristais de NaCl. Durante a animação observa-se que os cristais se movem em direção a um aglomerado de moléculas de água, e em seguida, quando se aproximam, estas moléculas hidratam os cristais e os íons. Entretanto, as moléculas de água não retiram íons do retículo cristalino, apenas os envolvem, como pode-se observar na figura 6. Além disso, não foi detectada nenhuma orientação espacial específica entre as espécies químicas. Este modelo em particular possui a inconsistência de apresentar cristais no final do processo, ao contrário do que foi observado no experimento (nível macroscópico), quando houve a dissolução total do NaCl, ou seja, os alunos elaboraram um modelo que contraria o que observaram no experimento.

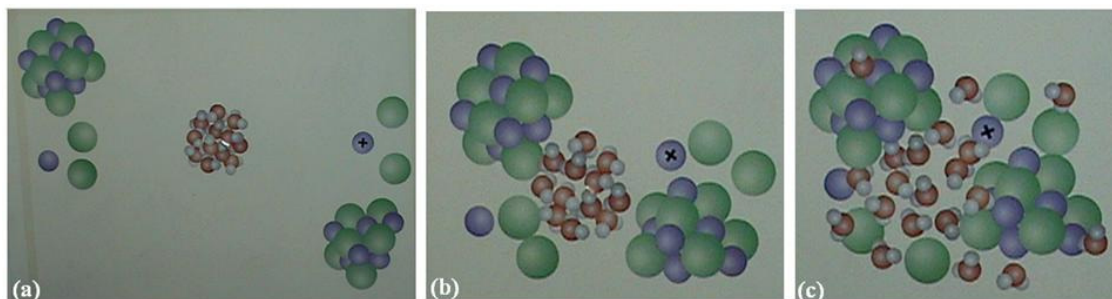


Figura 6: Sequência de imagens representando a dissolução de NaCl em água (Grupo 3)

Os grupos 4 e 5 apresentaram modelos confusos. Na animação eles representaram movimentos caóticos para as espécies e, além disso, não existe nenhuma orientação espacial definida. Assim, a observação de Norman (2009) acerca das incoerências apresentadas nos modelos mentais é corroborada.

O grupo 6 expressou em sua animação um modelo mental em que a dissolução do NaCl corresponde à separação dos íons de um modo geral. Além disso, não foi observada orientação espacial entre as espécies representadas. Este modelo muito simplificado também remete à observação de Norman (2009), de que as pessoas elaboram modelos parcimoniosos, ou seja, modelos econômicos e muito simplificados.

Os modelos expressos distintamente pelos grupos são três basicamente: o que considera a separação de íons, a recristalização e a hidratação do cristal iônico. Apenas um grupo evidenciou que existe uma orientação espacial entre as moléculas de água e os íons, entretanto essa orientação espacial proposta mostra-se inadequada.

CONCLUSÕES

Em relação aos modelos mentais dos estudantes sobre a dissolução do NaCl em água, de um modo geral observaram-se três modelos distintos. O primeiro considera que a dissolução do NaCl corresponde basicamente à separação dos íons em solução. O segundo modelo apresenta a dissolução como uma espécie de recristalização, em que inicialmente ocorre a separação dos íons e em seguida todas as espécies se reúnem, formando um aglomerado. O outro modelo considera que na dissolução do NaCl ocorre apenas a hidratação do cristal iônico e não chega a ocorrer a separação dos íons. É importante investigar os modelos mentais dos estudantes, pois em uma sala de aula pode haver uma elevada diversidade de modelos mentais elaborados pelos alunos, como foi observado nesta pesquisa, e conforme aponta Johnson-Laird (1983).

Em relação à orientação espacial das espécies químicas envolvidas no processo de dissolução, a grande maioria dos alunos não incorporou em seus modelos este aspecto, o que corrobora a afirmação de Norman (2009) sobre a tendência dos modelos elaborados serem parcimoniosos. Os alunos que consideraram a orientação espacial das espécies basicamente imaginaram que as moléculas de água ficam envolvidas por íons livres, ao contrário das esferas de hidratação em que os íons ocupam os centros das esferas.

A metodologia proposta para a investigação de modelos mentais de estudantes por meio da elaboração de animações ainda é muito recente, entretanto, observou-se que esta metodologia pode trazer bons resultados na investigação de modelos mentais dinâmicos, estes particularmente importantes no ensino de Química, que é focado de modo geral em transformações químicas, e assim apresentam um aspecto dinâmico.

A metodologia proposta apresenta as vantagens de ser relativamente barata, pois os recursos mais caros empregados foram uma máquina fotográfica digital e um computador. Outra vantagem é que os estudantes aprenderam facilmente a técnica de produção das animações, assim a atenção deles ficou focada principalmente na elaboração dos movimentos das figuras, com a representação do modelo na animação.

Uma outra vantagem do uso dessa metodologia, relevante para o ensino de Química, é a possibilidade dos estudantes manipularem as espécies químicas em nível submicroscópico de forma dinâmica e, dessa forma, é possível para o professor estabelecer a relação entre as representações em nível macroscópico, como um experimento, por exemplo, para o submicroscópico, com a elaboração da animação. Assim, com o estabelecimento das relações entre os níveis macroscópico e submicroscópico, ocorre uma melhor compreensão sobre o conceito/fenômeno químico pelo aluno (JOHNSTONE, 1993, 2000) e a consequente elaboração de um modelo mental mais adequado sobre o conceito em estudo.

Uma desvantagem observada é a velocidade de produção das animações, que é relativamente lenta, pois vinte estudantes em média produziram as fotografias que compõem as animações em cerca de quatro horas no total. Entretanto, é possível pedir para os estudantes elaborarem as animações em horários que não o de aula, como trabalhos extra-classe, por exemplo.

Uma limitação imposta pelo uso da animação como ferramenta metodológica é a impossibilidade de realizar rotações e vibrações entre os átomos das moléculas. Entretanto, no currículo do Ensino Médio, as vibrações internas das moléculas não são abordadas, e assim, essa limitação é minimizada.

A investigação de modelos mentais sobre processos químicos de estudantes pode ser uma atividade inicial em uma unidade didática. A partir dos modelos apresentados, o professor pode traçar estratégias para promover mudanças/evoluções em tais modelos, como por exemplo, realizar experimentos e propor para os alunos elaborar previsões sobre determinados aspectos, ou revisar estes modelos para questionar as eventuais inconsistências. Assim, é possível e recomendável realizar investigações para avaliar a evolução dos modelos mentais dinâmicos dos estudantes ao longo do curso.

REFERÊNCIAS

- Anderson, T. *et al.* Modelos mentais de movimentos. Disponível em: <http://www.geocities.com/modelos_mentais/tanderson.htm?20085>. Acesso em: 15 abr. 2009.
- Ben-Zvi, R.; Eylon, B. e Silberstein, J. Student's visualization of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, v.17, p.117-120, 1987.
- Gibin, G. B. *Investigação sobre a construção de modelos mentais para o conceito de soluções por meio de animações*. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.
- Gillespie, R. G. Commentary: reforming the general chemistry textbook. *Journal of Chemical Education*, v.74, n.5, p.484-485, 1997.
- Johnson-Laird, P. N. *Mental models: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1983.
- Johnstone, A. H. The development of chemistry teaching. *University Chemistry Education*, v.70, n.9, p.701-705, 1993.
- Johnstone, A. H. Chemical education research: where from here? *University Chemistry Education*, v.4, n.1, p.34-38, 2000.
- Moreira, M. A. Modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.1, n.3, p.193-232, 1996.
- Moreira, M. A.; Greca, I. M. e Palmero, M. L. R. Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Investigação em Educação em Ciências*, v.2, n.3, p.36-56, 2002.
- Nakhleh, M. B. Are our students conceptual thinkers or algorithmic problem solvers? *Journal of Chemical Education*, v.70, n.1, p.52-55, 1993a.
- Nakhleh, M. B. e Mitchell, R. C. Concept learning versus problem solving. *Journal of Chemical Education*, v.70, n.3, p. 90-192, 1993b.
- Norman, D. A. Algumas observações sobre modelos mentais. Disponível em: <http://www.geocities.com/modelos_mentais/dnorman.htm?20085>. Acesso em: 15 abr. 2009.
- Paselk, R. J. Visualization of the abstract in general chemistry. *Journal of Chemical Education*, v.71, n.3, p.225-226, 1994.
- Russel, J. W. *et al.* Use of simultaneous-synchronized macroscopic, microscopic, and symbolic representations to enhance the teaching and learning of chemical concepts. *Journal of Chemical Education*, v.74, n.3, p.330-334, 1997.
- Werneck, D. L. *Estratégias digitais para o cinema independente*. Dissertação (Mestrado em Artes) - Escola de Belas Artes, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

Wu, H. K.; Krajcik, J. S. e Soloway, E. Promoting understanding of chemical representations: students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, v.38, n.7 p.821-842, 2001.

Agradecimentos ao CNPq.