

Promovendo aprendizagem de conceitos e de representações pictóricas em Química com uma ferramenta de simulação computacional

Flávia M. T. Santos y Ileana M. Greca

Faculdade de Educação, UFGRS. Rua Paulo Gama, 12201-9, 90046-900, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: flaviamts@hotmail.com

Resumo: Neste artigo relatamos uma experiência de utilização de um software de simulação Monte Carlo, no tópico Interações Intermoleculares da disciplina de Química Geral I, com alunos dos cursos de Química (licenciatura e bacharelado) e Farmácia da ULBRA. Analisamos as dificuldades e os ganhos conceituais e representacionais, focando fundamentalmente os conceitos envolvidos nos sistemas propostos e as representações pictóricas elaboradas pelos estudantes universitários. Os resultados parecem indicar uma certa melhoria na representação pictórica e na parte conceitual, sendo que os estudantes que têm algum domínio conceitual apresentam um avanço mais acentuado que aqueles estudantes que não apresentam nenhum domínio conceitual.

Palavras-chaves: conceitos químicos, representações pictóricas; uso de ferramentas de simulação.

Title: Learning of concepts and pictorial representations in Chemistry with computational simulations

Abstract: In this article we relate the use of a Monte Carlo simulation software for the topic Intermolecular Interactions in a course of General Chemistry I with sophomore students of Chemistry and Pharmacy, from ULBRA University. We analyze the difficulties and gains in the conceptual and pictorial representations levels, focusing the concepts involved in the proposed systems and the pictorial representations elaborated by the undergraduates students. The results seem to show some improvement in the representational and conceptual level, being the students with some previous conceptual understanding who presents more significant improvement than students who seem to have a previously very poor conceptual understanding.

Key-words: chemistry concepts, pictorial representations, simulations.

Introdução

Fazer que os estudantes aprendam a utilizar o modelo cinético molecular da matéria como instrumento interpretativo de distintos fenômenos (Gutiérrez Julián, Gómez Crespo y Pozo, 2002) é um dos principais objetivos do ensino de química: os alunos devem aprender a interpretar os fenômenos químicos em

termos do arranjo e movimento de moléculas e átomos. Neste processo de compreensão do conhecimento químico estão envolvidos três diferentes níveis de representação: macroscópico, microscópico e simbólico (Johnstone, 1982, 1993). No nível macroscópico os fenômenos são observáveis e no microscópico o processo químico é explicado pelo arranjo e movimento de moléculas, átomos ou partículas subatômicas. A química simbólica é expressa por símbolos, números, fórmulas, equações e estruturas (Wu, Krajcik & Soloway, 2001).

Entretanto, estudos revelam que muitos estudantes têm dificuldade em compreender as representações em química (Ben-Zvi et al., 1988). As compreensões microscópica e simbólica são especialmente difíceis para os estudantes porque são invisíveis e abstratas e o pensamento dos alunos é construído sobre a informação sensorial (Ben-Zvi, Eylon & Silberstein, 1987). Além disso, os estudantes não estabelecem relações apropriadas entre o nível macro e o microscópico (Pozo, 2001; Kosma & Russell, 1997; Gillespie, 1997) e ainda, muitos que tenham conhecimento conceitual e habilidade de visualizar, são incapazes de transladar de uma dada representação química a outra (Wu, Krajcik & Soloway, 2001).

Para superar essas dificuldades, pesquisadores e educadores têm sugerido uma variedade de abordagens instrucionais. As estratégias propostas incluem o uso de modelos físicos (Huddle, White & Rogers, 2000); desenhos estáticos (*static drawings*) (Sanger, 2000); e animações (dinâmicas e tridimensionais) criadas por ferramentas tecnológicas para ajudar os estudantes a aprender a utilizar representações microscópicas e simbólicas na descrição e explicação de processos químicos (Barnea & Dori, 2000).

O uso de modelos e ferramentas tecnológicas para promover a aprendizagem química (Esquembre, 2001, Lijnse, Licht, Vos & Waarlo, 1990; Ben-Zvi, Silberstein & Mamlok, 1990; Tsaparlis & Georgiadou, 1993) parece permitir aos estudantes visualizar o comportamento cinético-molecular de sistemas, assim como possibilitar que eles sejam capazes de aprender a utilizar diferentes representações com certa competência. Assim, alguns estudos revelam que o uso de animação computacional amplia a aprendizagem conceitual dos estudantes (Sanger, 2000), e é mais efetivo para ajudá-los a visualizar a dinâmica dos processos químicos no nível molecular, particularmente quando o tópico envolve atributos de visualização, movimento ou trajetória, assim como as mudanças ao longo do tempo (reações de precipitação, equilíbrio, reações de ácido-base, etc.) (Sanger & Badger II, 2001).

Avançando na possibilidade de interação entre o estudante e as ferramentas computacionais encontram-se os softwares de modelagem molecular¹, recursos

¹O termo "modelagem molecular" pode ser usado para designar diferentes tipos de ferramentas computacionais. Vieira (1997) chama de *software de modelagem* aquele que executa uma grande quantidade de cálculos e envolve o tratamento matemático de um modelo de dados. Por outro lado, Esquembre (2002) denomina ferramentas de "modelagem" programas em que o usuário desenvolve a sua própria simulação computacional. As "modelações" não vêm sendo usadas na Educação Química apesar do

de visualização química que permitem ao estudante ver e interagir com múltiplas representações de modelos moleculares, simultaneamente (Wu, Krajcik & Soloway, 2001; Haddy, 2001, Kantardjieff, Hardinger & Willis, 1999). Neste tipo de software de simulação, que possibilita ao usuário a interação sem as limitações ou perigos que o sistema real possa ter (Eichler e Del Pino, 2000), existe um modelo subjacente pré-determinado, construído pelo pesquisador ou professor.

Através deste tipo de programa, o aluno seria capaz de visualizar eventos que acontecem a nível microscópico favorecendo a descrição, explicação e exploração de fenômenos e idéias abstratas, possibilitando também oportunidade de *feedback*, reflexão e revisão das representações elaboradas e dos conceitos envolvidos (Esquembre, 2002). Nesta categoria, podem ser encontradas ferramentas que simulam conceitos e fatos relacionados a sistemas, como a simulação da estruturação de uma molécula, da mudança de temperatura ou da alteração da pressão exercida sobre algum sistema (Sanger & Badger II, 2001, Varnek et al., 2000) ou, ainda, podem ser simuladas seqüências de operações e procedimentos como, por exemplo, as simulações pré-laboratoriais ou laboratoriais com as quais o aluno pode treinar e executar os procedimentos em um laboratório virtual (Jones, 2000).

De uma maneira geral, os estudos relatam que o uso de simulações computacionais produz uma significativa aprendizagem conceitual (Tao & Gunstone, 1999) e uma apropriação representacional (simbólica e microscópica) por parte do estudante (Wu, Krajcik, Soloway, 2001).

Embora o uso deste tipo de ferramentas seja fomentado, são poucas as pesquisas relatadas na literatura que avaliam os tipos de ganhos conceituais ou representacionais que são obtidos mediante sua utilização. Esse será o foco do trabalho que aqui apresentamos, onde relatamos a utilização e avaliação das aprendizagens de estudantes universitários que utilizaram uma destas ferramentas de simulação, o programa DICEWIN, no tópico Interações Intermoleculares da disciplina de Química Geral I. Na análise dos resultados da utilização do software tentamos abordar estes aspectos de forma conjunta, de maneira a obter alguns indícios que permitam adentrar nesta complexa e fundamental questão para o ensino de química. Obviamente, este trabalho não tem o intuito de resolver esta questão, pretendemos apresentar resultados que parecem indicar a necessidade do tratamento conjunto da representação pictórica e aprendizagem conceitual.

Conceitos, representações e modelação na química introdutória

O que significa que os estudantes aprendam a utilizar o modelo cinético molecular? Em geral, o que significa aprender a modelar em química? Na física, por exemplo, modelar uma situação envolve expressar matematicamente as relações físicas entre os objetos idealizados para modelá-la, a partir dos supostos de um dado modelo. Na química, no entanto, este tipo

seu grande potencial em permitir aos estudantes explicitar suas próprias concepções (Ribeiro e Greca, 2003).

de modelação é deixado para níveis mais avançados. Em geral, ao nível introdutório, se pretende que os estudantes sejam capazes de modelar uma situação a partir da utilização de uma representação pictórica, que lhes permita raciocinar e que possa, a seguir, ser expressa na sua contrapartida simbólica.

Estas representações se referem, fundamentalmente, aos modelos atômicos e moleculares utilizados para tornar possível a visualização de idéias complexas, processos e sistemas (Barnea & Dori, 2000). Algumas das representações mais utilizadas em química foram organizadas na figura 1

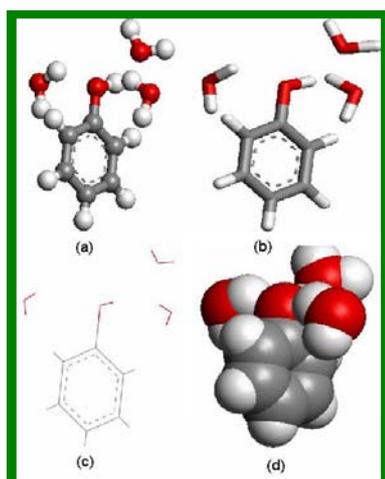


Figura 1.- Representações tradicionais.

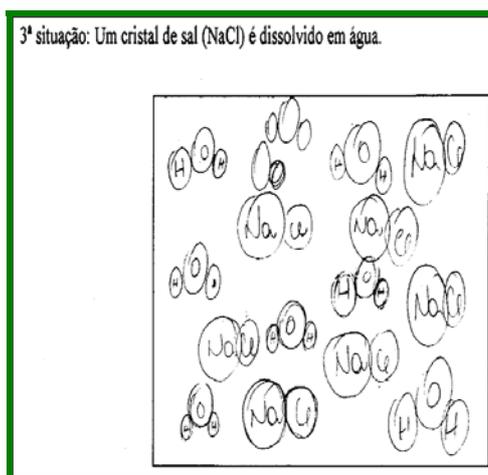


Figura 2.- Representações utilizadas pelos estudantes.

abaixo: *ball and sticks* – a, *sticks* – b, estrutural simples – c, e esferas sólidas – d. Além disso, é muito comum no contexto escolar a utilização de bolinhas e, até mesmo, dos símbolos dos elementos para representar as espécies, como vemos na figura 2.

Um dos problemas com a modelação química é que a forma na qual os fenômenos são modelados - nos primeiros anos dos cursos, através de representações pictóricas - parecem manter uma relação muito mais estreita com os fenômenos cotidianos que a modelação em física, esta basicamente realizada através de expressões matemáticas. Isso leva a uma "reificação" dos modelos, onde os tipos de representação pictórica utilizadas parecem solapar-se com "imagens" do fenômeno. Como mostra a literatura, um dos problemas que ocorre com o uso de modelos é que não é suficientemente enfatizado que os modelos são simulações baseadas na realidade, não são o que eles representam (Justi & Gilbert, 2002). Estes são modelos analógicos que são usados para explicar conceitos abstratos. Algumas de suas propriedades são similares aos aspectos reais que procuram representar, por exemplo, o diâmetro relativo das esferas representa os diferentes átomos, mas outros aspectos não refletem o modelo. Diferentes representações focam sobre diferentes propriedades das partículas, criando múltiplas formas de representar a mesma molécula. Os professores, freqüentemente, usam apenas um

determinado tipo de representação pictórica, limitando a experiência dos estudantes com os modelos e, dessa forma, não contribuem para a percepção de que um modelo pode ser parcialmente ou completamente inadequado (Barnea & Dori, 2000).

Para aprender a aplicar um modelo em química é vital então aprender as diferentes representações pictóricas que podem ser usadas, aprender a aplicá-las a diferentes situações e saber que, para um mesmo conceito, existe mais de uma representação externa possível (Wu, Krajcik, Soloway, 2001).

Obviamente isto não é simples. Pois não só os estudantes devem aprender a lidar com os invariantes nas situações para aprender os conceitos (Greca e Moreira, 2002), senão que também devem aprender a conviver e a detectar múltiplas representações para um mesmo fenômeno. Por isso a aprendizagem de um modelo implica aprender, além dos conceitos, as diferentes representações pictóricas do mesmo, as regras dessas representações, como essas regras representam as relações entre os conceitos, etc. Este, de fato, não é um processo simples. Como já relatado, os alunos têm sérias dificuldades com as representações, mesmo aqueles que demonstram compreender os conceitos subjacentes (Kosma et al., 1996).

No entanto, a representação de vários aspectos da atividade molecular é bastante dispersa no currículo escolar, além do problema antes indicado da utilização de uma única representação pictórica preferencialmente por parte dos professores. Os estudantes precisam de mais experiências com os modelos, como ferramentas intelectuais que permitem contrastes de visões conceituais do fenômeno e mais discussão do papel dos modelos na investigação científica.

Os processos cognitivos específicos de modelação química e as relações entre aprendizagem conceitual e representações pictóricas tem sido pouco estudados. Em geral, os trabalhos focam sobre um ou outro aspecto, sendo abordados independentemente um do outro (Wu, Krajcik, Soloway, 2001; Sanger & Badger II, 2001; Varnek et.al, 2000). Como indicado, na análise dos resultados da utilização do software tentamos abordar estes aspectos de forma conjunta.

Descrição do DICEWIN

Neste trabalho utilizamos um software de simulação Monte Carlo, desenvolvido dentro do grupo de pesquisa de Física Atômica e Molecular do Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Este software reproduz com grande fidelidade a estrutura microscópica de sólidos, líquidos e gases, com uma substância ou uma mistura delas. O DICE (Coutinho e Canuto, 1994) foi adaptado para ser utilizado em sala de aula por nossa equipe (Serrano et al., 2004).

Embasados nos resultados da literatura que indicam que o uso de simulações computacionais produz aprendizagem conceitual e apropriação representacional (simbólica e microscópica) por parte do estudante, nosso

objetivo com a utilização do software foi permitir a articulação de conceitos e representações a partir do uso de diferentes tipos de representações pictóricas. Com isto, propiciar condições de capacitar os estudantes a aplicar conceitos e representações a novas situações.

A criação de uma ferramenta computacional para produzir simulações não é uma tarefa simples, nem econômica; por isso optamos pela adaptação de um de software utilizado em pesquisa científica. A utilização software científico, adaptado segundo princípios de *design* de software educativos, como a simplificação da interface utilizada pelo estudante, é uma possibilidade ainda pouco explorada. Vislumbramos diversos benefícios na adaptação deste software de simulação, como o custo substancialmente menor da utilização de experimentos virtuais. Este software é gratuito, reproduz fielmente as mais atuais teorias sobre o campo científico e, além disso, possui um conteúdo extremamente sofisticado e que, com adaptações e exemplos simples, pode ser utilizado com sucesso nas salas de aula de química.

Na tela inicial do programa, existem diversos comandos como ler/escrever arquivos e de configuração das rotinas. O usuário pode controlar diversos parâmetros como o número de espécies (moléculas, átomos ou íons) existentes na simulação, a temperatura, a pressão e a densidade do sistema (Figura 3).

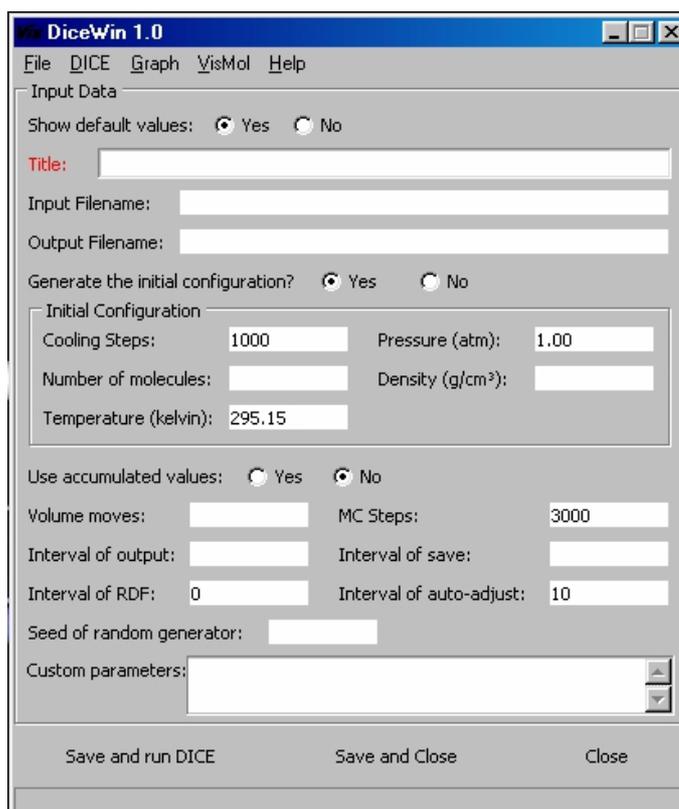


Figura 3.- Janela inicial do programa DICEWIN.

Durante a simulação é possível observar o que acontece com o sistema quando é aquecido ou resfriado (variando a temperatura), quando sofre um aumento ou diminuição da densidade, e também quando se aumenta ou diminui a pressão ambiente. De fato, o programa se comporta como um laboratório virtual onde o estudante pode alterar os parâmetros e observar a resposta do sistema. Também é possível observar um "filme", ou animação do comportamento das moléculas durante a simulação. Para isto foi desenvolvido um software chamado *Vismol* (Coutinho e Inoue, 1999) (Figura 4).

O usuário pode utilizar uma versão básica e outra avançada, e pode pedir ao programa para mostrar a simulação numérica, onde é possível observar o valor da energia do sistema físico-químico variando, tal qual um sistema real iria variar. O estudante também pode observar os valores numéricos correspondentes ao gráfico.

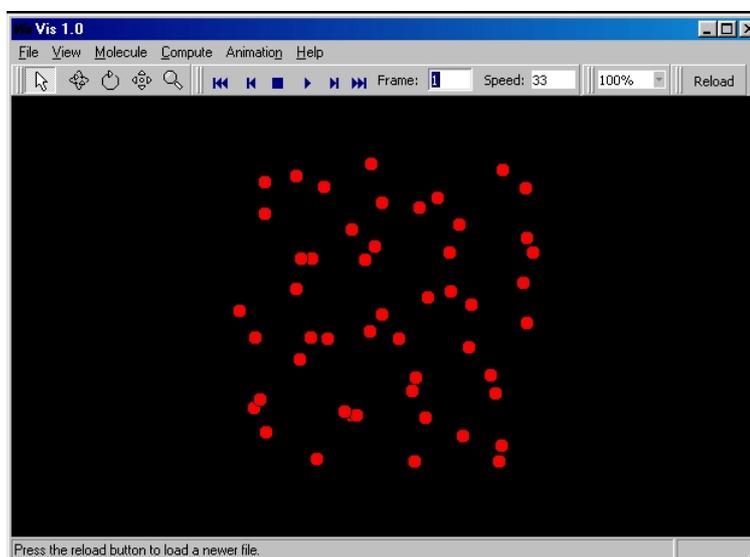


Figura 4.- Janela com a visualização da simulação.

Descrição da metodologia e do contexto da pesquisa

Este estudo qualitativo foi realizado com uma turma de Química Geral I, que reunia alunos dos cursos de Farmácia, Licenciatura e Bacharelado em Química, da Universidade Luterana do Brasil, durante o primeiro semestre letivo de 2002.

A turma era constituída inicialmente por 41 alunos (média etária 24 anos) que responderam a um questionário para a caracterização dos estudantes envolvidos nas atividades da disciplina. O objetivo desse questionário foi estabelecer o perfil da turma, de maneira a permitir uma melhor organização do curso e fornecer os indicativos para a implementação e utilização do software de simulação.

Esse questionário revelou a diversidade da formação no Ensino Médio dos estudantes matriculados na disciplina; informou sobre sua atuação profissional (71% deles atuam profissionalmente e 59% atuam em atividades ligadas à química - empresas ou ensino) e, indicou que em média 89% dos estudantes utilizam computadores e 45% deles fazem isso diariamente. O uso da Internet foi apontado por aproximadamente 70% dos informantes. Isso facilitou o trabalho já que os estudantes não necessitaram de muito tempo para se familiarizar com o software, dado que estavam bastante habituados às ferramentas eletrônicas.

As atividades com o software foram realizadas a partir da segunda metade do semestre e foram planejadas para acontecerem em duas sessões de utilização, de 4 horas-aula cada uma. A turma foi dividida em dois grupos. Ambos os grupos tiveram aulas teóricas sobre Interações Intermoleculares (forças íon-dipolo, forças dipolo-dipolo, forças de London e Ligações de Hidrogênio), tópico sobre o qual foram organizadas as atividades com o software, tendo como livro-texto de referência o Atkins e Jones (2001). Os grupos se diferenciaram somente no momento em que estas ocorreram. Um dos grupos teve aula teórica antes da utilização do software; e o outro após as sessões de utilização. A atividade com o software ocorreu em sala apropriada, no Laboratório de Informática -LABIN- da ULBRA e contou com a assistência de uma bolsista de Iniciação Científica, um técnico em informática e um professor, treinados na utilização do software.

Na investigação das representações e modelos químicos utilizados pelos estudantes foi realizado um pré-teste, antes de ministrar estes tópicos em aula. Na primeira parte do pré-teste foram sugeridas três situações (uma lâmpada de argônio, água a 25°C dentro de um copo e um cristal de sal -NaCl- dissolvido em água) que os alunos deveriam representar por modelos do comportamento cinético-molecular das espécies envolvidas. Estas situações são situações cotidianas simples, que podem ser abordadas com os conceitos desenvolvidos em aula. Na segunda parte do pré-teste foram propostas duas situações (cloreto de potássio dissolvido em água e argônio dissolvido em água) e para cada situação foram propostos diferentes arranjos representacionais para a estrutura de interação entre as espécies envolvidas. Os estudantes deveriam indicar a representação pictórica que melhor descrevesse o comportamento das espécies envolvidas em cada sistema e deveriam explicar sua escolha.

No pós-teste, realizados logo após as sessões de utilização do software, foram utilizadas as mesmas questões, com pequenas adaptações, e foram ainda propostas três questões envolvendo situações cotidianas "dinâmicas", não trabalhadas nas atividades anteriores, as quais os estudantes deveriam representar transferindo os conceitos e representações utilizadas e supostamente aprendidas nas simulações (ver Anexo 1). Como já indicado, os dados coletados com o pós-teste pretendiam a avaliação da eficácia da ferramenta de simulação a partir da análise da apreensão conceitual e representacional que o estudante obteve com o uso da ferramenta.

Antes da utilização do software, os estudantes foram familiarizados com o programa por meio da execução de alguns exemplares propostos no "Manual do Usuário". Após um rápido treino e tendo se familiarizado com a ferramenta, os estudantes realizaram as simulações contidas em um "Guia para Utilização do Simulador DICEWIN". As atividades propostas estão organizadas segundo o modelo "Predizer - Observar - Explicar (POE)" (White & Gunstone, 1992; Tao & Gunstone, 1999). As tarefas envolvem predizer o comportamento de um sistema com determinados parâmetros e as conseqüências de mudanças na temperatura. A seguir os estudantes devem executar a simulação com os parâmetros propostos e, após a realização da simulação, devem comparar os resultados obtidos com aqueles esperados, procurando mostrar congruências e discrepâncias entre ambos. Ao final devem comentar sobre as diferenças e semelhanças entre as simulações efetuadas, assim como descrever quais as forças intermoleculares intervêm no comportamento observado e se foi possível visualizar na simulação a ação dessas forças, teoricamente intervenientes. Além disso, os estudantes devem aplicar os conhecimentos a novas situações propostas.

O primeiro sistema proposto é o do Argônio, constituído por cinquenta átomos de argônio, que o estudante executando as simulações Ar1, Ar2, Ar3 deverá submeter a diferentes temperaturas 298,25K, 0,0K, 398,25K, respectivamente; e uma quarta simulação, Ar4, cuja temperatura deve ser definida pelo próprio aluno, normalmente acima de 500K.

O segundo sistema executado pelos estudantes é o sistema água (Aqua01, Aqua02, etc.), também executado a diferentes temperaturas e segundo as mesmas instruções do sistema Argônio. Estes procedimentos são utilizados também para a execução das simulações do comportamento do íon sódio em presença de moléculas de água (é sugerido ao estudante simular um íon em meio a 20 moléculas de água) e do íon de cloreto em meio às moléculas de água.

Os estudantes trabalham colaborativamente em grupos pequenos, duplas ou trios, de forma a favorecer o engajamento em um diálogo produtivo com seus pares. Um importante elemento da construção de conhecimento em pequenos grupos parece ser a elaboração de perguntas que servem para explicitar e articular o que o grupo não sabe; clarificar e articular as questões; discutir, interpretar e construir idéias (Hogan, Nastasi & Pressley, 2000).

Os dados utilizados nas análises realizadas neste artigo contam ainda com as gravações em vídeo realizadas durante as sessões de utilização. Esse material permite que tenhamos acesso a elementos não registrados no pré e pós-testes e nos guias de utilização, que foram recolhidos ao final da atividade.

Resultados: os conceitos e as representações nos pré e pós-testes e discussão das mudanças com exemplos e categorias

A partir da análise das respostas fornecidas pelos estudantes às diferentes tarefas do pré e pós-testes elaboramos uma categorização que procura refletir dois aspectos fundamentais que estamos tratando neste trabalho: os conceitos

envolvidos nas situações propostas e as representações pictóricas elaboradas pelos estudantes para as mesmas. Esta categorização foi construída a partir das respostas globais, analisando tanto os modelos gerados pelos estudantes quanto o tipo de representação pictórica escolhida e as explicações dadas para sua escolha. Este procedimento foi feito em duas oportunidades distintas, para observar em que medida as categorias propostas eram estáveis para os próprios pesquisadores.

Da análise do material dos alunos, podemos observar que algumas dificuldades no estabelecimento de modelos decorriam da ausência dos conceitos necessários para interpretá-los. Ou seja, alguns estudantes não somente apresentavam dificuldade para expressar mediante uma representação externa um determinado modelo senão que, às vezes, o que faltava eram os conceitos necessários para compreender o fenômeno sob o ponto de vista químico. Por isso, a classificação proposta está dividida em duas grandes categorias, a partir da diferença que consideramos fundamental, se o aluno tem ou não os conceitos necessários para compreender os fenômenos. No entanto, compreender os conceitos químicos não é, como já discutimos anteriormente, condição necessária e suficiente para modelar fenômenos a nível microscópico. No conhecimento químico dominar um conceito implica saber aplicá-lo e representá-lo em diversas situações: na Química da mão da compreensão conceitual deveria vir a compreensão representacional, o que parece não acontecer normalmente (Kosma & Russell, 1997). Por isso, cada uma dessas categorias foi subdividida em subcategorias que tentam relacionar estes aspectos com o problema da representação, partindo então da idéia que antes de poder representar os alunos devem possuir os conceitos necessários.

Categorias:

a) Existência de Conceitos. Os estudantes nesta categoria demonstram utilizar os conceitos necessários para a elaboração de representações apropriadas às situações apresentadas. Estes são os conceitos de dissociação iônica, interação entre os íons e as moléculas em solução; interação entre espécies em solução (polares, apolares, homonucleares, polinucleares) e hidratação ou solvatação dos íons.

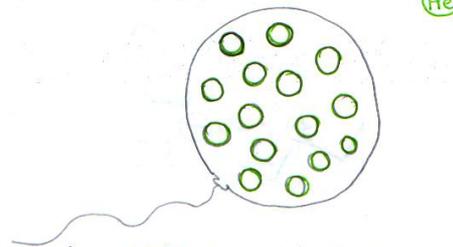
a.1 *Domínio dos conceitos e da representação pictórica embora com elementos de representação macroscópica*. As representações incluídas nessa subcategoria envolvem a utilização correta dos conceitos e da representação, entretanto os estudantes utilizam ainda uma representação mista (micro e macroscópica), incluindo o recipiente que contém o sistema. Um bom exemplo dessa categoria é a representação proposta por Moni² (Figura 5) para as situações da primeira parte do pós-teste.

a.2 *Domínio dos conceitos e dificuldades na produção de representação pictórica*. Os estudantes mostram domínio dos conceitos necessários

² Os nomes verdadeiros dos estudantes envolvidos nas situações serão preservados, neste texto utilizamos pseudônimos para designar os participantes da pesquisa.

nas atividades em que a representação é fornecida, conseguindo aplicar corretamente os conceitos para a explicação das situações. Porém, nas atividades de modelação não conseguem representar as situações adequadamente. Como exemplo dessa categoria podemos citar Fabi, que apesar de assinalar e explicar adequadamente as questões de múltipla escolha e utilizar os conceitos nas representações das situações 1, 2 e 3, para a primeira situação cotidiana fornece uma representação pictórica inadequada, apesar de reconhecer a força que age no sistema (Figura 6).

1ª situação: Gás hélio (He) dentro de um balão.



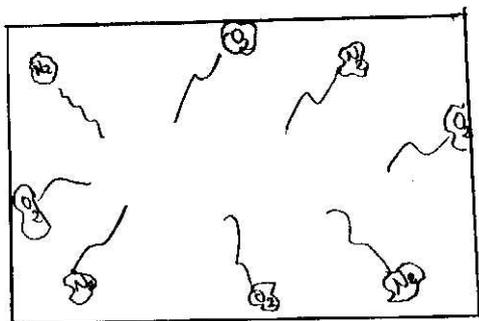
2ª situação: Água a 25°C dentro de um recipiente



3ª situação: Um cristal de sal (NaCl) é dissolvido em água.



Figura 5.- Representação de Moni.



Forças de London

Figura 6.- Representação de Fabi para a situação cotidiana 1.

a.3 *Existência incipiente dos conceitos com utilização da idéia de simetria.* Nas atividades de modelação os estudantes não conseguem representar adequadamente. Nas atividades que envolvem a seleção de uma representação pictórica, embora a escolha seja correta e, aparentemente, os estudantes dominem os conceitos envolvidos, não elaboram uma justificativa coerente e justificam em termos da organização e simetria do sistema representado. Os estudantes dizem "a solução de moléculas está mais espalhadas" (Ana - pós-teste), "estão bem distribuídas e em relação às forças intermoleculares" (Ane - pós-teste). Esta subcategoria se diferencia da subcategoria B4, analisada a seguir, porque apesar de em ambas os estudantes justificarem em termos de organização e simetria do sistema representado, em A3 os estudantes fazem a escolha correta (escolha que não seria possível apenas aplicando a idéia de simetria), porém utilizam a idéia de simetria como uma saída já que não conseguem explicitar sua escolha.

b) Não existência de Conceitos. Nesta categoria encontram-se os estudantes que parecem não dominar todos os conceitos necessários para a análise das situações propostas.

b.1 *Domínio de alguns conceitos e representação pictórica parcial.* Os estudantes aparentam possuir alguns conceitos necessários para solucionar as tarefas propostas, porém parecem faltar os conceitos de hidratação dos íons e de dipolo elétrico da água. Estes estudantes mostram alguma habilidade para representar microscopicamente alguns dos fenômenos. Isto é o que acontece com Andréia que propõe a representação da Figura 7 para o sistema "Um cristal de sal (NaCl) é dissolvido na água".

3ª situação: Um cristal de sal (NaCl) é dissolvido em água.

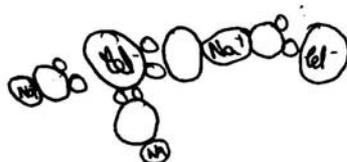


Figura 7 – Representação de Andréia no pós-teste

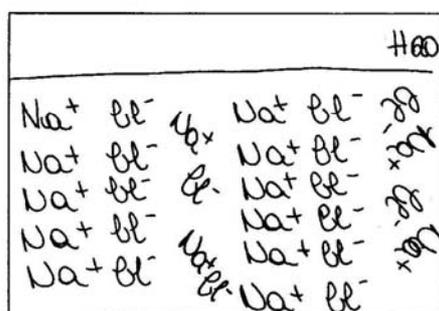
b.2 *Ausência de alguns conceitos necessários para compreender a solubilidade (ou de interação entre íon-dipolo, ou de hidratação) e dificuldades com as representações pictóricas.* Os alunos desta subcategoria além de não possuir todos os conceitos antes enunciados têm dificuldades

na representação, utilizando, predominantemente, representações macroscópicas.

b.3 *Ausência de conceito e de representações apropriadas com utilização de definições textuais.* Estes estudantes, que não conseguem representar microscopicamente, ao tentar explicar algumas de suas respostas utilizam "definições", na forma de macetes, de maneira não apropriada, evidenciando não entender o que fazer com elas. Por exemplo, Cris justifica sua representação (inadequada) para o NaCl dissolvido na água do pós-teste em termos de "qual dos compostos tem maior caráter iônico". Ane justifica sua opção (incorreta) na Questão 2, do pós-teste: "Eu escolhi a 3 porque as moléculas de água estão bem distribuídas e em relação às forças intermoleculares depende do tipo de interação".

b.4 *Ausência de conceitos com a utilização da idéia de organização e simetria do sistema.* Como indicamos anteriormente, os estudantes desta categoria fazem as suas escolhas e as justificam desde idéias da "simetria" que possuiriam determinadas representações pictóricas, sem utilizar nenhum dos conceitos químicos apropriados. As representações propostas por Kil e Ana, no pré teste para a situação 3 são exemplares desta categoria (Figuras 8 e 9).

3ª situação: Um cristal de sal (NaCl) é dissolvido em água.



condução de corrente elétrica
 formação de íons, chamados íons dissolvidos dentro da água

Figura 8.- Representação de Kil no pré-teste.

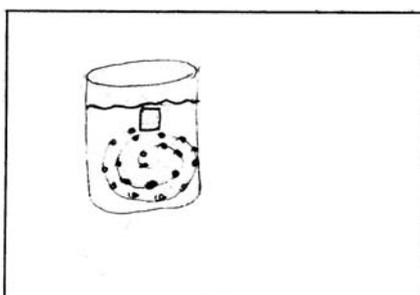


Figura 9.- Representação de Ana.

b.5 *Ausência de conceitos e representação pictórica.* Estes estudantes não utilizam representações microscópicas e respondem de forma inadequada às questões propostas sem tentar sequer a utilização de uma repostagem próxima àquela utilizada no discurso escolar.

IND. Algumas representações não foram enquadradas em nenhuma das categorias e foram denominadas indefinidas.

Apresentamos a seguir a tabela 1 com a caracterização de cada estudante por categorias no pré e no pós-testes, levando em consideração somente os estudantes completaram ambos os testes (N= 26).

Como se observa na Tabela 1, no pré-teste há um predomínio das categorias B (85%), mostrando que os estudantes não dominam os conceitos necessários para tratar as situações. Somente dois estudantes encontram-se na categoria A2. Assim, é possível observar que todos têm dificuldades para expressar mediante uma representação química as situações colocadas. Nos pós-testes 42% dos estudantes conseguem passar para a categoria A e destes 4 conseguem dominar os conceitos e representar adequadamente.

Para analisar em que medida o uso das simulações provocou algum tipo de avanço na compreensão dos conceitos e nas representações pictóricas associadas aos fenômenos estudados, acrescentamos duas colunas na tabela onde aparecem os avanços e os elementos que permanecem, depois da instrução com o software. Os dados revelam que 42% dos alunos não apresentaram nenhum avanço, 8% dos alunos que dominavam os conceitos passam a representá-los adequadamente, 11% dos alunos adquirem um domínio sobre os conceitos e sobre as representações pictóricas, 23% dos alunos obtiveram um avanço no domínio conceitual, porém sem um avanço paralelo na representação e que 15% tem um avanço parcial nos conceitos e nas representações pictóricas.

Os resultados parecem indicar então que o software possibilita certa melhoria na representação pictórica e na parte conceitual, sendo que os estudantes que têm algum domínio conceitual apresentam um avanço mais acentuado que aqueles estudantes que não apresentavam no pré-teste nenhum domínio conceitual. Em relação aos grupos que utilizaram o software, com ou sem aulas teóricas prévias, não se observaram diferenças nos resultados obtidos.

A seguir apresentamos alguns casos específicos, de maneira mais aprofundada, destacando especificamente o tipo de representação pictórica utilizada e as dificuldades conceituais. Estes casos correspondem a duplas que trabalharam conjuntamente durante a aula de utilização. Os casos foram escolhidos levando em consideração se tiveram aulas teóricas antes da implementação ou não, e o desempenho no pré e pós-testes.

a. Alunos que não tiveram aula teórica antes da utilização do software:

r Caso 1a: Alunos Jôse (B4-B4) e Jer (B3-A2/A3)

Aluno	Pré-teste	Pós-teste	Avanços	Permanência
Ane	B4	A3	Avanço parcial na compreensão dos conceitos	Idéia de simetria. Dificuldade de representação
Aline	B4/B2	A1	Avanço conceitual e representacional	
Lemos	B2	A1	Avanço conceitual e representacional	
Ana Paula	B3/B4	B1	Avanço na compreensão de alguns conceitos e utilização parcial de representações	
Ana	B4	A3	Avanço na compreensão de alguns conceitos e utilização parcial de representações	Idéia de simetria Dificuldade de representação
Andréia	B3/B4	B1	Avanço na compreensão de alguns conceitos e utilização parcial de representações	
Berê	B3	A1	Avanço conceitual e representacional	
Cris	B3	B3	Não houve avanço	
Dane	A2	A1	Avanço conceitual e representacional	
Déb	IND	IND	Não houve avanço	
Fabi	B2/B4	A2	Avanço conceitual	Dificuldade de representação
Grey	B3	B1	Avanço parcial na compreensão de alguns conceitos	Problemas conceituais e na representação
Gust	A3/B2	A2/A3	Avanço conceitual	Dificuldade de representação Idéia de simetria
Jer	B3	A2/A3	Avanço na compreensão de alguns conceitos e utilização parcial de representações	A falta de domínio leva o aluno a recorrer à idéia de simetria
Jôse	B4/B5	B4	Não houve avanço	
Joice	B4	B4	Não houve avanço	
Kar	B4/B5	B4/B5	Não houve avanço	
Kíl	B4	B4	Não houve avanço	
Lair	B4	B5	Não houve avanço	
Lu	B4	A2	Avanço conceitual com abandono da idéia de simetria	Dificuldade na representação
Maiq	A2	B2	Não houve avanço - com aparente retrocesso	
Mar	IND	B4	Não houve avanço	
Moni	A3	A1	Avanço conceitual e representacional	
Pauli	B5/B4	B4	Não houve avanço	
Sost	B5	B5	Não houve avanço	
Vivi	B4/B3	B4	Não houve avanço	

Tabela 1.- Ocorrência das categorias nos pré e pós-testes.

Jer, no pré-teste, utiliza uma representação de bolinha e aparentemente possui um conceito fraco de separação iônica. No pós-

teste continua utilizando a representação de bolinha, porém, com diferenciação entre moléculas e átomos e da natureza das interações entre íons e moléculas. Parece aprimorar sua idéia de separação iônica, utilizando uma certa regra lógica para representar essas interações. Entretanto, aplica a regra ao contrário do cientificamente aceito.

Quanto às questões em que Jer deve modelar situações cotidianas, para a situação 1 não representa e explica inadequadamente; parece não entender o problema proposto. Na situação 2 representa utilizando misturas de representações pictóricas e parece utilizar uma representação macroscópica para se orientar em relação à representação mais próxima daquela aceita no discurso escolar. Isso fica evidenciado por ele usar lápis nas representações e passar à caneta a resposta que ele acredita ser correta do ponto de vista do professor (Figura 10).



Figura 10 – Representação de Jer para a situação cotidiana 2.

Além disso, Jer não consegue representar adequadamente o CO_2 e não consegue representar as interações entre o CO_2 e a água. Ele consegue prever as interações para as dissoluções iônicas mas não para aquelas que envolvem moléculas apolares (CO_2).

Na situação 3, para a molécula de álcool etílico, ele reconhece e representa (misto – parte estrutural e parte de bolinha) a polarização da molécula. Entretanto, novamente aplica a mesma regra ao contrário, mas sabe que existe uma regra de interação entre partículas.

A representação utilizada por Jer no pré-teste é pobre: são bolinhas sem uma diferenciação entre átomos e moléculas. Entretanto sua representação avança no pós-teste e o aluno passa a utilizar a mistura de representações macro e microscópica – esse comportamento é coerente com o que ele entende como modelo. "Modelo: É o produto da aplicação prática de uma ou mais teorias e leis a fim de tentar demonstrar em meios visuais o que não pode ser visto" (Jer – pós-teste).

Sua companheira de trabalho, Jôse utilizava no pré-teste uma representação macroscópica sem representar as interações entre as partículas e parecia não dominar nenhum dos conceitos fundamentais

(figura 11). No pós-teste utiliza uma representação mista (macroscópica, pontos, *sticks* e bolinhas) arbitrariamente, continuando com as mesmas dificuldades conceituais: problemas com a idéia de ionização e de polarização. No caso das situações com aplicações cotidianas apropria-se de algumas representações (representa a água por *sticks*) mas não sabe como utilizar esta representação em outras moléculas.

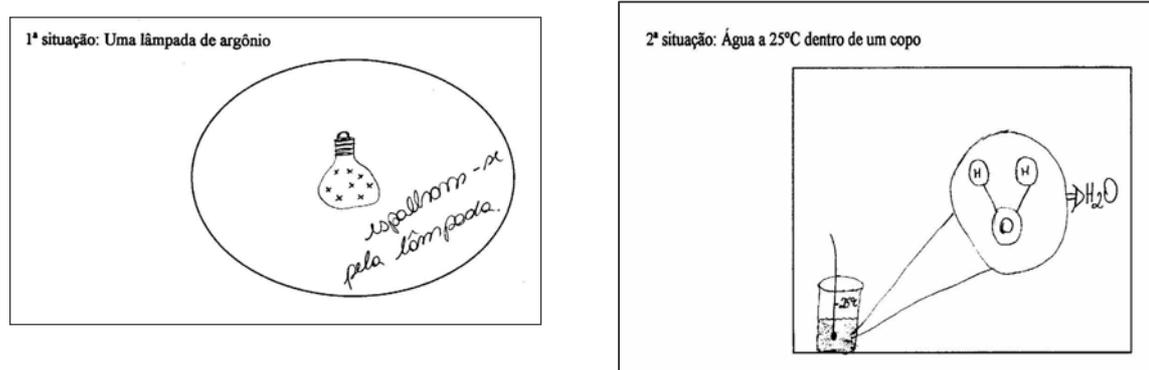


Figura 11.- Representações propostas por Jôse no pré-teste.

Quanto às situações cotidianas Jôse parece utilizar o preceito de que o meio mais concentrado tem mais moléculas de CO_2 . Possivelmente, por suas dificuldades conceituais apropria-se, mediante o uso das simulações, somente de representações pictóricas, sem discernir claramente como utilizá-las.

As respostas propostas por este grupo no guia de utilização revelam que estes conseguem observar a polarização correta na visualização da simulação, entretanto não transferem estes elementos quando devem representar fenômenos não diretamente observados. Em nenhuma das quatro situações simuladas conseguem determinar as forças intermoleculares presentes nas soluções. A partir da simulação os dois estudantes conseguem se apropriar de alguma representação, entretanto não se apropriam das idéias de forças intermoleculares e natureza das interações.

r Caso 1b: Moni (A3-A1) Dane (A2-A1)

No pré-teste Dane utiliza uma representação de bolinha sem conceitos intrínsecos de átomo e molécula e dissociação iônica, e não há representação da interação entre as partículas. Quando a representação pictórica é fornecida ela consegue escolher e explicar corretamente, aparentando então uma dificuldade não conceitual mas na representação.

No pós-teste utiliza uma representação mista - macro e microscópica -, com os conceitos de átomo e molécula (ver Figura 5). Representa corretamente as interações entre as moléculas da água e entre a água e os íons. Em relação às aplicações cotidianas, Dane representa

corretamente a situação 1. Utiliza uma representação mista, representando as moléculas e também o botijão de gás no canto de um quadro. Na situação 2, representa as moléculas de CO₂ distribuídas em meio a bolinhas não identificadas entretanto não associa nenhuma força de interação presente no sistema. Responde de forma semelhante para o caso 3. Há um avanço considerável nas representações pictóricas de Dane e na utilização dos conceitos envolvidos. Quando se trata de representar situações cotidianas é capaz de utilizar corretamente as representações das partículas e o conceito de solução (espalhamento homogêneo de um soluto em um solvente); entretanto apresenta dificuldades para a representação das forças intermoleculares presentes nos sistemas.

Moni no pré-teste não apresenta uma representação preferencial – se é gás tem duas bolinhas juntas e a água representa pela fórmula estrutural. Quando a representação é fornecida demonstra possuir uma idéia de ionização. No pós-teste utiliza uma representação mista, com os conceitos corretamente aplicados. Da mesma forma que Dane é capaz de representar corretamente as situações cotidianas utilizando uma representação mista para os três casos.

b. Alunos que tiveram aula teórica antes da utilização do software:

r Caso 2a: Ana (B4-A3) Ali (B4-A1)

Ana, no pré-teste, parece não possuir os conceitos necessários para aplicar às situações e representa com dificuldade; utiliza uma representação macroscópica, sendo que as moléculas são representadas por pontos e não há representação da interação entre as partículas. No pós-teste utiliza uma representação mista, parece entender a idéia de polarização e utiliza a idéia de interação entre os íons e as moléculas de água na situação 3. Em relação à aplicação a situações cotidianas não representa nenhuma das situações e tenta dar uma explicação, não completamente apropriada, lançando mão das forças de interação. Avança na utilização de novas representações pictóricas e na idéia de íons e interações entre a água e os íons.

Ali, também com dificuldade de representação no pré-teste, utiliza representação macroscópica, sendo que as moléculas são representadas como bolinhas e utiliza uma representação da interação entre as partículas – apesar de incorreta. No pós-teste utiliza uma representação mista – continua a representar macroscopicamente e com bolinhas. Utiliza corretamente as interações dipolo-dipolo, ligação de hidrogênio e íon-dipolo e os conceitos de íons e moléculas. Quanto às situações cotidianas não representa nenhuma das situações e tenta dar uma explicação, não completamente apropriada, lançando mão das forças de interação. Mostra ter adquirido bastante competência na representação microscópica.

As alunas registram no guia de utilização que não conseguiram perceber durante a visualização da simulação a ação das forças intermoleculares *"pois nunca havíamos observado um movimento das moléculas dessa forma"*. Apesar do comentário as alunas representam os movimentos de rotação e vibração das partículas em suas representações pictóricas.

r Caso 2b: Kar (B3-B4) Andréia (B3-B1)

No pré-teste Kar utiliza uma representação mista macroscópica e com os símbolos dos elementos, aparentemente apresenta uma idéia fraca sobre a formação de íons, mas sem representar as interações entre as partículas. No pós-teste não avança muito em relação à representação pictórica e tampouco em relação aos conceitos necessários.

Quanto às aplicações cotidianas não representa a situação 1 e tenta dar uma explicação, não completamente apropriada, lançando mão das forças de interação. Na outras duas situações tenta representar com um modelo misto mas sem aplicação de nenhum conceito.

No pré-teste Andréia representa com dificuldade e utiliza uma representação macroscópica onde as moléculas são bolinhas, sem representar a interação entre as partículas. Pelas suas respostas parece sequer dominar o conceito fundamental de íon. No pós-teste representa com bolinhas, mas sem muito avanço sendo muito difícil observar que conceitos domina. Nas três situações cotidianas tenta fazer uma representação microscópica.

Discussão e conclusões

A partir dos resultados apresentados pode-se observar que em termos gerais, a utilização do software não produz ganhos conceituais e/ou representacionais em todos os alunos. Quatro horas de utilização do software parecem não ser suficiente para os estudantes que têm pouca fundamentação teórica. Entretanto, para aqueles alunos que têm algum domínio conceitual, as atividades de utilização do software parecem ser bastante proveitosas e permitir-lhes consolidar seus conhecimentos teóricos, assim como um maior repertório de representações pictóricas. Em particular, os alunos com maior domínio conceitual mas com dificuldades para gerar representações químicas por si só parecem ser aqueles mais beneficiados pelo uso da simulação. Lembramos que não observamos diferenças nos dois grupos em que a turma foi dividida. De forma que, as aulas teóricas não tiveram o efeito de apropriação conceitual desejada: os estudantes parecem utilizar as concepções que foram construídas durante o ensino médio. Como vimos mais de 60% dos alunos tinham formação específica como *"técnicos em química"*, havendo no ensino médio trabalhado, mesmo que superficialmente, com a maioria dos conceitos estudados neste tópico.

Aparentemente uma das dificuldades na categoria B é que os estudantes parecem não conseguir trabalhar com vários conceitos simultaneamente. Na química, como já indicado, pela complexidade dos fenômenos de que ela trata, a utilização e a transferências de vários níveis de representação e dos conceitos intrínsecos a cada um deles é um grande desafio para os alunos. Ao representar uma situação microscopicamente o estudante, que parte de um fenômeno macroscópico deve imaginar e representar não apenas os objetos desse fenômeno como as relações, que não são próprios ou visíveis no mundo macroscópico mas que somente têm validade em nível micro.

Daí decorre que nenhum dos estudantes consiga superar a utilização de uma representação mista – macro e micro. Nosso estudo revela a dificuldade de superação da representação macroscópica por parte dos estudantes, mesmo quando são capazes de representar o sistema químico microscopicamente inserem-no em um recipiente ou utilizam algum elemento “visível” como referência na representação.

Outro aspecto que sobressai nos dados é a grande dificuldade de alguns estudantes em superar a idéia de simetria. Em parte essa idéia parece ser fortalecida pelos materiais instrucionais que ao apresentar “quadros” estáticos e simétricos sugerem que a organização é um elemento importante na representação de um sistema.

Em relação ao programa, é preciso esclarecer que os estudantes tiveram algumas dificuldades com o programa, que, como indicamos, ainda estava em fase de construção. Esses problemas foram desde seu funcionamento e manuseio como dos equipamentos disponíveis. Entretanto, tais problemas não inviabilizaram a realização da atividade e tampouco comprometeram ou desvirtuaram os resultados apresentados neste estudo.

O que podemos observar é que a maior dificuldade parece ser apreender o conjunto de informações, relações e representações químicas de forma a logo conseguir traduzir fenômenos, ou seja modelar, em termos dessas informações, relações e representações. Isto encontra eco na proposta de Vergnaud, em relação a que o domínio do campo conceitual³ em uma determinada área por parte do sujeito, ocorre ao longo de um largo período de tempo (muitas vezes vários anos), através de experiência, maturidade e aprendizagem (1982, p. 40). Assim, novas propriedades deveriam ser estudadas ao longo de vários anos, para que os alunos consigam ir dominando-as.

Isto reforça nossa opção em tomar de maneira conjunta as representações pictóricas e os conceitos. E ainda reitera a necessidade de estruturar estratégias didáticas mais apropriadas para superar essas dificuldades. Tais estratégias poderiam prever o exercício de uma maior diversidade de representações ao longo do curso de química e uma gama mais variada de aplicações para cada conceito. O uso de software poderia ser uma ferramenta

³ Define-se campo conceitual como um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros (Vergnaud, 1982)

válida para estas estratégias. Ainda, é necessário ressaltar esta questão em relação à pesquisa.

Parecem ser necessárias mais pesquisas que estudem em conjunto as representações químicas e os conceitos, além da necessidade de elaborar um referencial conceitual próprio para compreender os processos de modelação em química. Todos os trabalhos publicados até agora na literatura usam uma definição muito ampla do que seja a tarefa de modelar em ciências; porém, como brevemente tentamos indicar neste trabalho, a modelação em química tem peculiaridades específicas, que não são semelhantes aquelas da modelação em física, por exemplo. Acreditamos que é necessário focar as especificidades da modelação em cada área das ciências, porque suas peculiaridades possivelmente nos levem a ter que desenvolver estratégias instrucionais diferenciadas.

Referências bibliográficas

Atkins, P. e Jones, L.L. (2001) *Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. Porto Alegre: Bookman.

Barnea, N. e Dori, Y.J. (2000) Computerized Molecular Modeling - The New Technology for Enhancing Model Perception Among Chemistry Educators and Learners. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1(1), 109-120.

Ben-Zvi, R., Eylon, B. & Silberstein, J. (1987) Student's visualization of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, 17-120.

Ben-Zvi, R., Silberstein, J. & Mamlok, R. (1990) Macro-micro relationships: a key to the world of chemistry. In P. L. Lijnse, P. Licht, W. De Vos, A. J. Waarlo (ed.) *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles: a central problem in secondary Science Education*.(pp.183-197) CD-β Press: Utrecht.

Coutinho, K. e Canuto, S. (1994) *DICE: Software de Simulação computacional*. Instituto de Física, Universidade de São Paulo.

Coutinho, K. e Inoue, J. (1999) *VISMOL: Software de Visualização de Moléculas*. Universidade de Mogi das Cruzes.

Eichler, M. e Del Pino, J.C. (2000) Computadores em Educação Química: Estrutura Atômica e Tabela Periódica. *Química Nova*, 23(6), 835-840.

Esquembre, F. (2002) Computers in Physics Education. *Computer Physics Communications*, 147(1-2), 13-18.

Gillespie, R.G. (1997) Commentary: Reforming the General Chemistry Textbook. *Journal of Chemical Education*. 74, 484.

Greca, I.M. e Moreira, M.A. (2002) Além da detecção de modelos mentais dos estudantes uma proposta representacional integradora. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(1). <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>

Gutiérrez Julián, M.S.; Gómez Crespo, M.A. y Pozo, J.I. (2002) Conocimiento cotidiano frente a conocimiento científico en la interpretación de las

propiedades de la materia. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(3). <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>

Haddy, A. (2001) Using a Molecular Modeling Program to Calculate Electron Paramagnetic Resonance Hyperfine Couplings in Semiquinone Anion Radicals. *Journal of Chemical Education*, 78(9), 1206-1207.

Hogan, K. Nastasi, B.K. e Pressley, M. (2000) Discourse Patterns and Collaborative Scientific Reasoning in Peer and Teacher-Guided Discussions. *Cognition and Instruction*, 17(4), 379-432.

Huddle, P.A., White, M.D. e Rogers, F. (2000) Using a teaching Model to correct known misconceptions in Electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 77(1), 104-110.

Johnstone, A.H. (1992) Macro and Microchemistry. *School Science Review*. 64(227), 377-379.

Johnstone, A.H. (1993) The development of chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*. 70(9), 701-705.

Jones, R.B. (2000) Life Before and After Computers in the General Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 77(8), 1085-1087.

Justi, R.S. e Gilbert, J.K. (2002) Modeling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.

Lijnse, P.L., Licht, P.L. , Vos, W. De, Waarlo, A.J. (1990) *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles: a central problem in secondary science education*. CD-β Press: Utrecht.

Kantardjeff, K. ; Hardinger, S. e Van Willis, W. (1999) Introducing Chemical Computation Early in the Undergraduate Chemistry Curriculum. *Journal of Chemical Education*, 76(5), 694-697.

Kozma, R.B. e Russell, J. (1997) Multimedia and Understanding: Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949-968.

Kozma, R.B., Russell, J., Jones, T., Marx, N. e Davis, J. (1996) The use of multiple, linked representations to facilitate science understanding. In R.G.S. Vosniadou, E. De Corte e H. Mandel (eds), *International perspective on psychological foundations of technology-based learning environments*. (pp. 41-60) Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Pozo, R.M. (2001) Prospective teacher's ideas about the relationships between concepts describing the composition of matter. *International Journal of Science Education*, 23(4), 353-371.

Ribeiro, A.A. e Greca, I.M. (2003) Simulações Computacionais e Ferramentas de Modelagem em Educação Química: Uma Revisão de Literatura Publicada. *Química Nova*, 26(4), 542-549.

Sanger, M.J. (2000) Using Particulate Drawings to Determine and Improve Students' Conceptions of Pure Substances and Mixtures. *Journal of Chemical Education*, 77(6), 762-766.

Sanger, M.J. e Badger II, S.M. (2001) Using Computer-Based Visualization Strategies to Improve Students' Understanding of Molecular Polarity and Miscibility. *Journal of Chemical Education*, 78(10), 1412-1426.

Serrano, A., Santos, F.M.T. e Greca, I.M. (2004) Teaching Ionic Solvation Structure with a Monte Carlo Liquid Simulation Program. *Journal of Chemical Education*, 81(9), 1322-1329.

Tao, P-K e Gunstone, R.F. (1999) The Process of Conceptual Change in Force and Motion during Computer-Supported Physics Instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), 859-882.

Tsaparlis, G. e Georgiadou, A. (1993) A three-cycle method of teaching beginning high school chemistry students, based on the macro, the representational and the sub-micro levels of chemistry. In A. Bargellini, P. Todesco, (eds.) *Proceedings of the 2nd European Conference on Research in Chemical Education*. (pp. 357-362). University of Pisa: Pisa.

Varnek, A.A., Dietrich, B., Wipff, G. e Lehn, J.-M. (2000) Supramolecular Chemistry: computer-assisted instruction in undergraduate and graduate chemistry courses. *Journal of Chemical Education*. 77(2), 222-226.

Vergnaud, G.A (1982) Classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In T. Carpenter, J. Moser e T. Romberg (Eds.). *Addition and subtraction. A cognitive perspective*. (pp. 39-59). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.

Vieira, S.L. (1997) Contribuições e Limitações da Informática para a Educação Química. Dissertação. Universidade Estadual de Campinas e Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná.

White, B.Y e Gunstone, R.F. (1992) *Probing Understanding*. London: Falmer.

Wu, Ksin-Kai, Krajcik, J.S. e Soloway, E. (2001) Promoting Understanding of Chemical Representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*. 38(7), 821-840.

Anexo 1

Instrumento de Coleta de Dados - Projeto de Pesquisa: “Uso de Simulações para o Ensino de Ciências em Nível Médio e Universitário”

I- O QUE VOCÊ ENTENDE POR MODELO? EXEMPLIFIQUE.

QUAL É A RELAÇÃO ENTRE MODELO E REALIDADE?

II- SÃO SUGERIDAS ABAIXO ALGUMAS SITUAÇÕES. REPRESENTE CADA UMA DELAS POR MODELOS DO COMPORTAMENTO CINÉTICO-MOLECULAR DAS ESPÉCIES ENVOLVIDAS.

1ª situação: Gás hélio (He) dentro de um balão.

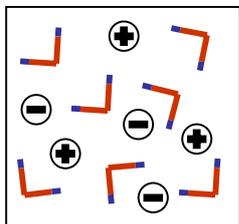
2ª situação: Água a 25°C dentro de um recipiente

3ª situação: Um cristal de sal (NaCl) é dissolvido em água.

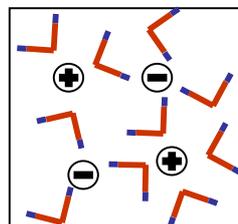
III- NAS QUESTÕES QUE SEGUEM VOCÊ DEVE ASSINALAR O MELHOR MODELO PARA CADA SITUAÇÃO E JUSTIFICAR SUA RESPOSTA.

Questão 1 - Dadas as representações abaixo indique aquela que melhor representa o comportamento do sal dissolvido em água. Explique sua escolha e comente sobre as forças intermoleculares presentes.

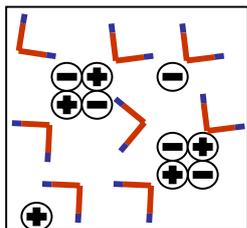
a)



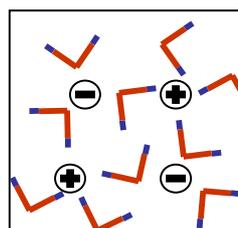
d)



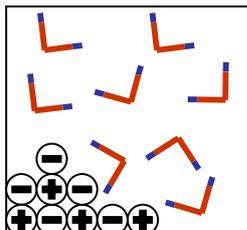
b)



e)



c)



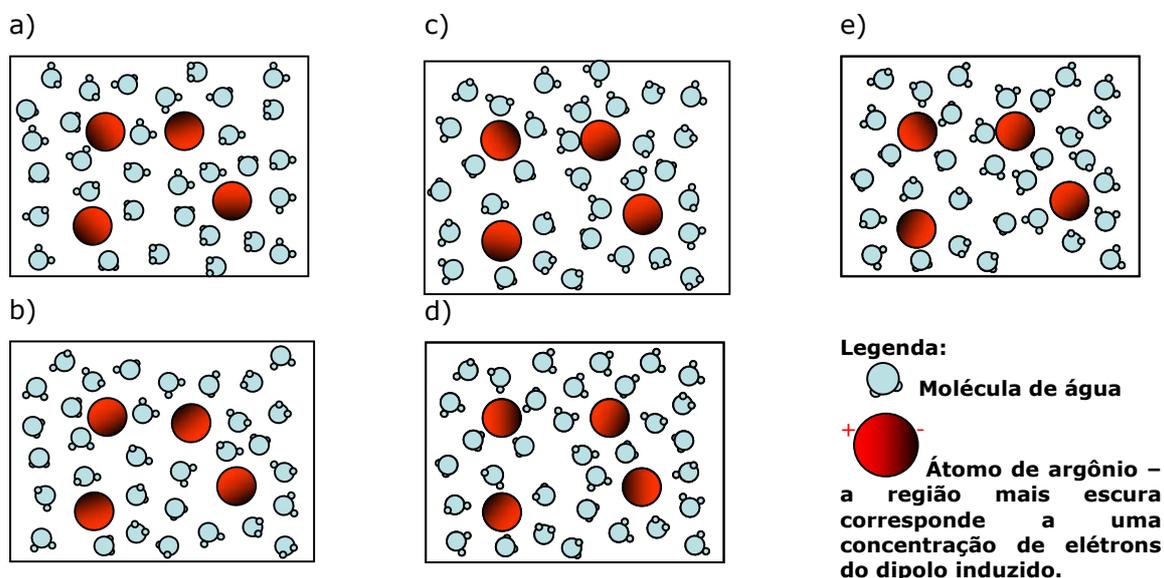
Legenda:

 Molécula de água

 Cátion

 Ânion

Questão 2 - Dadas as representações abaixo indique aquela que melhor representa o comportamento do argônio dissolvido em água. Explique sua escolha e comente sobre as forças intermoleculares presentes.



IV- NAS QUESTÕES QUE SEGUEM VOCÊ VAI APLICAR OS CONHECIMENTOS ADQUIRIDOS A SITUAÇÕES COTIDIANAS.

1- Supondo que um botijão de gás deixe vaziar o gás em uma sala fechada. Como você representaria o espalhamento do gás pela sala? Represente essa situação com palavras e/ou desenho e/ou gráfico. Escolha a representação que considere mais apropriada e que melhor expressa sua idéia em relação ao fenômeno.

Supondo que o ar da sala esteja isento de impurezas e seja constituído por gás nitrogênio (N_2 - 72%) e gás oxigênio (O_2 -21%), quais as interações intermoleculares presentes?

2- Sabemos que o gás contido nos refrigerantes é o gás carbônico (CO_2) e que esse gás se desprende facilmente do líquido porque é pouco solúvel em meio aquoso. Faça um modelo que represente o comportamento cinético-molecular do CO_2 dissolvido na solução de refrigerante. Represente essa situação com palavras e/ou desenho e/ou gráfico. Escolha a representação que considere mais apropriada e que melhor expressa sua idéia em relação ao fenômeno.

3- Sabemos que a solubilidade de dois líquidos é também um fenômeno relacionado à natureza das interações entre as diferentes espécies presentes (íons ou moléculas). Represente o comportamento cinético-molecular das espécies presentes em uma solução de água e álcool etílico (C_2H_5OH). Represente essa situação com palavras e/ou desenho e/ou gráfico. Escolha a representação que considere mais apropriada e que melhor expressa sua idéia em relação ao fenômeno.