

Análise de aplicativos educacionais sobre equilíbrio químico

Analysis of educational software on chemical equilibrium

*Erick Montagna, Ana Carolina B. Moulatlet, Bayardo B. Torres e
Guilherme A. Marson**

Instituto de Química-Universidade de São Paulo

**gamarson@iq.usp.br*

Resumo

O conceito de equilíbrio químico é central no aprendizado de química. Entretanto, é considerado um tópico ao qual se associam inúmeras dificuldades de aprendizado. Contribuem para isto o caráter abstrato do conceito de equilíbrio dinâmico e a adoção de analogias didáticas inapropriadas. Softwares educacionais têm sido empregados como ferramenta para superar essas dificuldades. Admite-se que, potencialmente, possam favorecer a integração dos diferentes níveis representacionais bem como a representação da natureza dinâmica dos fenômenos num sistema em equilíbrio. O objetivo deste trabalho foi identificar e analisar softwares de equilíbrio químico disponíveis na internet quanto à estas potencialidades. Constatou-se que: i – é pouca a oferta de softwares sobre equilíbrio químico; ii – os softwares analisados não dispõem de recursos computacionais suficientes para facilitar a integração dos diferentes níveis representacionais e a representação dinâmica dos fenômenos; iii – são baseados em tecnologias no limiar da obsolescência.

Palavras-chave: software educacional; níveis representacionais; equilíbrio químico.

Abstract

Chemical equilibrium is a central concept in chemistry. However, it is regarded as a topic to which several learning difficulties are associated. Major factors contributing to this are the abstract character of the dynamic equilibrium concept and the use of inappropriate didactic analogies. Educational software have been proposed as tools to overcome such difficulties. It is admitted that, potentially, they might favor the integration of the different representational levels as well as the representation of the dynamic nature of phenomena in a system at equilibrium. This work aimed at identifying and analyzing software on chemical equilibrium available in the Internet, regarding the potentialities cited above. It was found that: i – software on chemical equilibrium are scarce; ii – software analyzed do not display sufficient computational resources to facilitate the integration of the different representational levels and the representation of dynamic phenomena; iii – they are based on technology bearing obsolescence.

Key-words: educational software; representational levels; chemical equilibrium

Introdução

Equilíbrio químico é um conceito central na Química, sem o qual não é possível a compreensão e explicação de inúmeras transformações no mundo material, sejam elas de

interesse econômico, ambiental, de saúde pública ou estritamente acadêmico. Já são bem conhecidas e caracterizadas as dificuldades encontradas pelos estudantes de ensino médio em aprender significativamente o conceito, as quais, inclusive, são reportadas também no ensino superior (AKKUS et al 2003). A análise da origem de tais dificuldades revela diversos fatores interoperantes. Dentre estes, salienta-se concepções formuladas pelos estudantes divergentes da proposição científica do conceito. Muitas destas são criadas e reforçadas pelos professores no decorrer do processo, e incidem comumente sobre a natureza fenomenológica – notavelmente associações inconsistentes e interpretações equivocadas do princípio de Le Chatelier (OZMEN 2007; CHEUNG et al., 2009, CANZIAN e MAXIMIANO, 2010). Uma lista não exaustiva destas concepções inclui:

No equilíbrio não ocorre reação.

A reação inversa só tem início quando a reação direta termina, ou seja, quando os reagentes esgotam.

O equilíbrio é alcançado quando a concentração das substâncias é igual em ambos os lados da equação.

A taxa da reação direta é maior que a da reação inversa.

Reações de equilíbrio se mantêm até que todos os reagentes sejam consumidos.

O princípio de Le Chatelier pode ser aplicado no estado inicial, ou seja, antes da reação alcançar o equilíbrio.

O princípio de Le Chatelier pode ser aplicado para qualquer sistema.

Quando uma substância é adicionada a uma mistura que se encontra no equilíbrio, o equilíbrio é deslocado para o lado em que ocorreu a adição.

Ao aumentar-se a quantidade de substâncias sólidas iônicas em um sistema em equilíbrio, mais íons são dissolvidos.

Quando se altera a temperatura, o equilíbrio não é perturbado, independente da reação ser endotérmica ou exotérmica.

Quando se aumenta a temperatura, há sempre maior formação de produtos.

O aumento da temperatura sempre eleva o valor da constante de equilíbrio.

O valor da constante de equilíbrio aumenta quando a temperatura é elevada em uma reação exotérmica.

A uma temperatura constante, a adição de produtos a um sistema em equilíbrio faz com que a constante de equilíbrio aumente.

O valor numérico da constante de equilíbrio varia de acordo com a quantidade de reagentes e produtos

A gênese de tais concepções está diretamente ligada às analogias presentes nos materiais didáticos e ao seu uso em sala de aula. É já sabido que as analogias visuais e as questões ligadas à visualização e à representação de fenômenos sub-microscópicos – para os quais as representações e os modelos são única forma de visualização – desempenham papel fundamental no processo de apropriação de conceitos científicos pelos estudantes, operando nos modelos mentais que os estudantes elaboram para estruturar a aprendizagem (JUSTI; GILBERT, 2002). Portanto, é razoável admitir que o uso de analogias inadequadas nos materiais didáticos – tanto na esfera conceitual quanto na representação e visualização de conceitos científicos – está relacionado aos problemas de representação da natureza dinâmica

do equilíbrio químico, contribuindo diretamente para a formulação de conceitos como aqueles acima enunciados.

Com relação às representações do fenômeno, destacamos que a natureza do conhecimento químico traz em si dificuldades de aprendizagem – grosso modo, a Química descreve e explica o visível com o invisível e o abstrato (COSTA et al, 2005). Essa dificuldade pode ser enunciada segundo a proposição das representações múltiplas dos conceitos químicos (JOHNSTONE, 1991; GABEL, 1992): os conceitos químicos apresentam três níveis de representação: o macroscópico (fenomenológico), o microscópico (ou sub-microscópico) e o simbólico. O aprendizado efetivo de um conceito químico requer a integração dos diferentes níveis, tendo o nível simbólico o papel de mediar a associação entre a descrição de fenômenos visíveis e sua explicação com modelos microscópicos. As representações microscópica e simbólica são as de maior dificuldade de compreensão para os estudantes (BEN-ZVI et al, 1986, 1987) por serem abstratas, contrapondo-se à forma de entendimento habitual baseada em informações sensoriais. A não integração dos níveis representacionais facilitaria, portanto, que estudantes elaborassem e consolidassem modelos e explicações para conceitos químicos inadequados do ponto de vista científico, os quais, por exemplo, conferem propriedades dos objetos macroscópicos a corpúsculos como átomos e moléculas.

Visando contribuir para a resolução destes problemas, softwares educacionais têm sido apontados como ferramentas promissoras, as quais poderiam, em princípio, articular recursos computacionais que facilitassem a integração dos níveis representacionais e a visualização de fenômenos dinâmicos como aqueles tão caros à compreensão do equilíbrio químico. Esta prerrogativa fora, inclusive, impulsionada concretamente por políticas oficiais de incentivo para a implementação das tecnologias da informação e do conhecimento no ensino de ciências (UNESCO, 2010).

Neste contexto, considera-se pertinente identificar um repertório de softwares sobre equilíbrio químico facilmente localizáveis na Internet, e analisá-lo quanto à possibilidade de atender à expectativa que recai sobre os recursos computacionais com finalidade educacional. Os softwares foram analisados segundo critérios que levam em conta recomendações internacionais, tendo em vista suas potencialidades como instrumentos de ensino e aprendizagem; sua contribuição para as questões relacionadas à representação do conceito; e as margens que abrem para favorecer ou não a criação e validação de concepções não científicas sobre equilíbrio químico.

Metodologia

Os seguintes softwares foram identificados a partir de repositórios de recursos educacionais (privilegiando-se, quando possível, softwares associados a algum tipo de trabalho de pesquisa educacional): Thermofluids¹; MINEQL+4.6², REACT³, HySS⁴, ChemEQL⁵, Visual MINTEQ⁶, JESS⁷, AquaSoftSolution⁸, Le Chat 2.0⁹. Os softwares foram analisados segundo

1 <http://energy.sdsu.edu/testcenter/testhome/index.html> (acesso em 11/07/2011)

2 <http://www.mineql.com/> (acesso em 11/07/2011)

3 Ramette RW. REACT: Exploring Practical Thermodynamic and Equilibrium Calculations J. Chem. Educ. Software 8B1

4 <http://www.hyperquad.co.uk/hyss.htm> (acesso em 11/07/2011)

5 http://www.eawag.ch/research_e/surf/Researchgroups/sensors_and_analytic/chemeql.html (acesso em 11/07/2011)

6 <http://www.epa.gov/ceampubl/mmedia/minteq/> (acesso em 11/07/2011)

7 http://jess.murdoch.edu.au/jess/jess_home.htm (acesso em 11/07/2011)

8 <http://www.aquasolsoft.com/> (acesso em 11/07/2011)

9 <http://nautilus.fis.uc.pt/wwwqui/equilibrio/port/Welcome.html> (acesso em 11/07/2011)

os parâmetros seguintes: associação a um estudo acadêmico; possibilidade de simulação de reações; finalidade declarada; potencial como facilitador da integração das múltiplas representações do conceito; modos de interação e interface gráfica; idioma; disponibilidade de uso livre; ano de produção.

Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta a súmula de resultados gerais para fim comparativo dos softwares analisados.

Tabela 1: Comparação entre os recursos disponíveis nos softwares analisados.

Software	Parâmetros						
	Figura em trabalho acadêmico?	Principais funções	Integração de níveis representacionais	Interface amigável	Língua	Uso livre?	Produção
Thermofluids	Não	Cálc. EQ ¹ em fase gasosa	Não	Sim	Inglês	Não	2000
MINEQL+	Não	Cálc. EQ ¹	Não	Sim	Inglês	Não	2008
REACT	Sim	Cálc. EQ	Não	Não	Inglês	Não	1995
HySS	Sim	Cálc. EQ Especificação e titulação	Não	Não	Inglês	Sim	1999
ChemEQL	Não	Cálc. EQ	Não	Sim	Inglês	Sim	2000
Visual MINTEQ	Não	Cálc. EQ	Não	Não	Inglês	Sim	2000
JESS	Não	Cálc. EQ	Não	Não	Inglês	Sim	2000
AquaSoft Solution	Não	Cálc. EQ	Não	Não	Inglês	Sim	2000
Le Chat 2.0	Sim	Cálc. EQ, modelo de partículas, curvas de concentração em fase gasosa.	Parcial	Sim	Portug.	Sim	1995

1. Cálculo de constantes e concentrações no equilíbrio;

Da análise global dos dados apresentados na Tabela 1 ressalta-se que, em princípio, a maioria dos softwares disponíveis para finalidades educacionais baseiam-se fortemente na função de calculadores de constantes de equilíbrio e de valores de concentração de reagentes e produtos, sendo, portanto, enfatizados os valores de entrada e os resultados numéricos obtidos. Cabe ao aluno a indicação de uma composição para o sistema e as respectivas concentrações, havendo para tanto a possibilidade de escolher compostos ou espécies de uma lista. O software então emite como resultado parâmetros numéricos, como o valor da constante e as concentrações das espécies de reagentes e produtos na situação de equilíbrio. Um exemplo deste tipo de interface é mostrado na Figura 1.

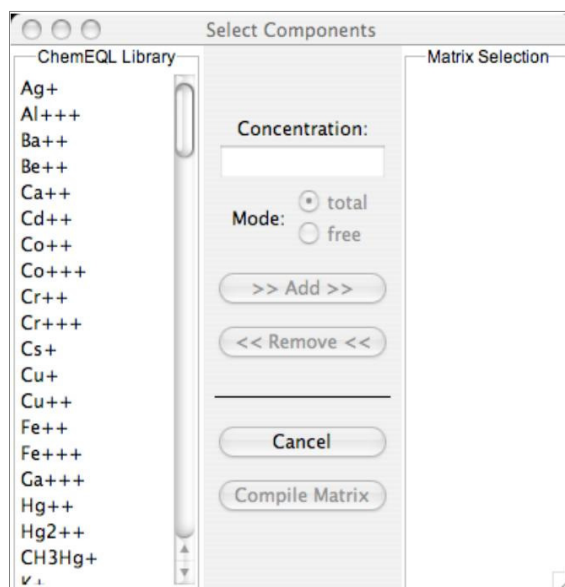


Figura 1: Captura de tela mostrando Tabela de seleção de componentes da reação química (ChemEQL)

É importante salientar que diversos softwares com função de cálculo apresentam uma interface de entrada e saída de dados adequada do ponto de vista ergonômico, isto é, não impõem obstáculos ao aluno enquanto usuário. Embora esta seja uma condição facilitadora, seguramente não cumpre em si as funções educacionais esperadas para o software. Assume-se que o estudante tenha conhecimento do fenômeno ou dos princípios do equilíbrio químico para utilizar este tipo de software.

Em princípio, esta constatação em si não seria significativa para a questão do uso de softwares como ferramentas de ensino e aprendizagem do conceito de equilíbrio químico. Porém, o fato da maior parte dos softwares analisados enquadrar-se nesta categoria torna relevante a constatação, sobretudo porque, a julgar pelas datas de produção dos computadores, existe uma cultura instalada de que este é o modelo de software interativo para o ensino de equilíbrio químico. Estes fatores se acentuam ainda mais se levarmos em conta que a maior parte dos softwares listados não estão relacionados a nenhum tipo de trabalho de pesquisa em ensino, seja como objeto ou produto. Portanto, seu desempenho como ferramenta educacional se, testado, fora feito provavelmente segundo parâmetros tradicionais de desempenho, os quais notadamente não atentam para questões fundamentais do ensino e aprendizagem de ciências, sobretudo aquelas oriundas dos avanços desta área do conhecimento nas últimas décadas. A questão da interface é também especialmente relevante nesta quadratura, pois aperfeiçoamentos neste quesito do software são frequentemente percebidos e confundidos com aperfeiçoamentos nas finalidades educacionais, como se, ao atender às novidades estéticas e funcionais das interfaces gráficas, os softwares também estivessem, em sua essência, atendendo aos avanços no conhecimento sobre o ensino e a aprendizagem de ciências. Por estas razões, faz sentido discutir algumas questões sobre os calculadores.

Para o aluno que desconhece o conceito ou o compreendeu apenas como mais um “recurso mnemônico para resolução de exercícios”, um software calculador configura-se como um autômato para resolver exercícios de verificação de memorização das equações derivadas da expressão que define a constante de equilíbrio. Neste caso, há de se considerar alguns problemas que podem emergir da forma como se interage com o calculador.

Para aqueles pouco versados no tema equilíbrio químico, a saída de dados na forma numérica pouco contribui à compreensão do conceito de equilíbrio dinâmico. A Figura 2 mostra o resultado de uma simulação típica de um computador.

Summary of All Species for a Single Run

MINEQL+ Ver 4.5 Page 1
Data Extracted from : TEST.MDO
SINGLE RUN SUMMARY

This report compiles the output data (concentration, Log C, Log K) for all species within a single run.

MINEQL+ Ver 4.5 Page 2
Data Extracted from : TEST.MDO
Run: 1

ID	Species	Conc.	Log C	Log K
Type I - COMPONENTS				
2	H2O	1.000E+00	0.000	0.000
3	H(+)	1.000E-07	-7.000	0.000
16	Ca(2+)	7.550E-05	-4.122	0.000
54	PO4(3-)	5.740E-11	-10.241	0.000
Type II - COMPLEXES				
3800	OH-	(-1) 1.010E-07	-6.997	-14.000
7300	CaOH+	(+1) 1.520E-10	-9.819	-12.700
28403	CaH2PO4+	(+1) 3.630E-08	-7.440	20.920
28700	CaHPO4 (aq)	4.700E-07	-6.328	15.040
41100	H2PO4-	(-1) 2.150E-05	-4.668	19.570
41100	HPO4-2	(-2) 1.360E-05	-4.866	12.380
41200	H3PO4	3.020E-10	-9.520	21.720
71902	CaPO4-	(-1) 1.250E-08	-7.903	6.460
Type III - FIXED ENTITIES				
3801	H2O (Solution)			0.000

Figura 2: Resultado de uma simulação rodada no software MineQL.

Do ponto de vista simbólico, com o computador adianta-se à introdução qualitativa e macroscópica a abordagem essencialmente abstrata e numérica. Nenhuma consideração ou representação é feita sobre o processo ou a natureza do fenômeno. Isso favorece a adoção de posturas passivas do estudante frente ao computador de valores, o que sabidamente pouco contribui para o processo de elaboração mental necessário para a apropriação do conceito. Para o aluno, o computador torna-se uma “caixa preta” que retorna valores calculados a partir de dados inseridos. Como tal, não há qualquer conexão com o conceito fundamental de equilíbrio dinâmico e, portanto, fica ao encargo do aluno criar modelos para explicar os fenômenos que, por ventura, teriam resultado no estado de equilíbrio expresso numericamente pelos dados emitidos pelo computador. Com efeito, não são fornecidos mesmo insumos para tal elaboração, pois as representações numéricas são dificilmente associadas a elementos simbólicos que possibilitem ao aluno a construção de um modelo baseado em imagens para associar os resultados emitidos pelo software a representações visuais ou iconográficas dos conceitos, tal qual fazem os cientistas no processo de atribuição de significados a conjuntos de dados numéricos resultantes de seus experimentos. Caberá ao aluno recorrer a representações outras, em geral analogias visuais as quais fora exposto no processo de aprendizagem, como únicos recursos para construção de modelos que busquem extrair algum sentido dos números.

Há margem, portanto, para a criação de modelos não científicos, os quais dificilmente serão acessados numa atividade tradicional com este tipo de software e que, ao invés de se configurarem em mecanismos provisórios de acomodação de idéias, podem estabelecer-se como as únicas idéias estáveis no lugar dos conceitos científicos que se deseja ensinar com o software. Isto, naturalmente, partindo do pressuposto de que o aluno terá alguma motivação para dedicar-se a algum tipo de reflexão e não irá desinteressar-se prontamente do processo de aprendizagem diante da escassez de recursos visuais oferecida pelo computador.

Em alguns casos, softwares desta natureza apresentam a possibilidade de mostrar resultados também na forma gráfica, como mostrado na figura 3.

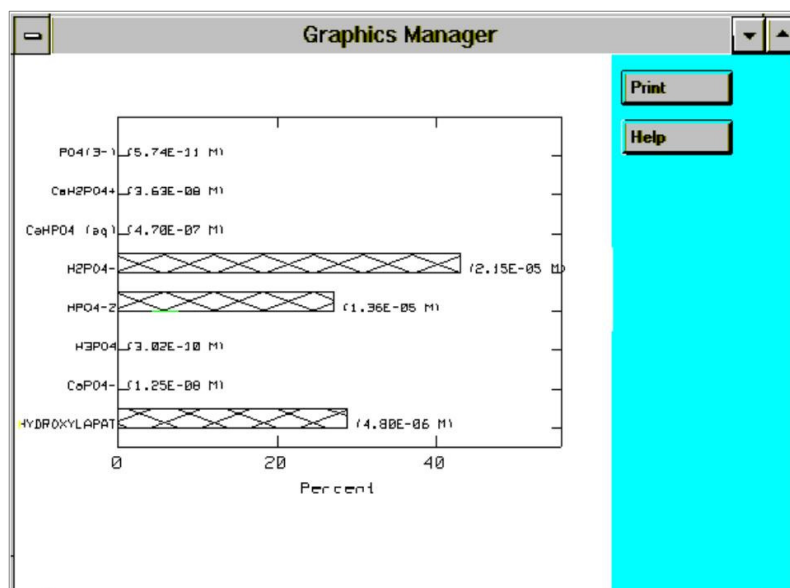


Figura 3: Apresentação exclusiva de um gráfico de barras representando as concentrações das espécies (MineQL)

A questão representacional pode ser atenuada com a representação gráfica, já que as dimensões proporcionais de gráficos tipo barras facilitam a interpretação dos resultados simulados da composição do sistema em equilíbrio. Contudo, não constituem avanço no que se refere à questão da formulação de modelos e da integração de níveis representacionais.

Outro ponto problemático a se considerar nos calculadores tange à questão da simulação de experimentos. Já são bastante conhecidos os obstáculos de aprendizagem relacionados às abordagens que apresentam os modelos explicativos e as leis empíricas como generalizações magnas dos fenômenos da natureza. Tal idéia é corroborada por visões científicas, ainda propagadas no sistema educacional e, infelizmente, ainda predominantes no senso comum. Para o ensino do princípio de Le Chatelier isto é especialmente crítico (CANZIAN; MAXIMIANO, 2010). Portanto, de maneira geral, o risco do uso desavisado de um simulador de equilíbrio é validar as concepções que cristalizam este tipo de obstáculo de aprendizagem. No caso específico de uma simulação nos moldes dos calculadores este problema se agrava, uma vez que este tipo de software não favorece a possibilidade de formulação de qualquer crítica por parte do aluno sobre a pertinência ou não dos resultados simulados. Independentemente da acurácia e precisão dos cálculos apresentados, esta forma de apresentação de resultados é limitada como forma de representação que favoreça a integração conceitual, por exemplo, entre o princípio de deslocamento do ponto de equilíbrio e sua expressão numérica.

O único software do conjunto analisado que apresenta avanços significativos face aos calculadores é o software Le Chat, o qual parece incorporar em sua concepção alguns dos avanços da área de ensino de ciências, sobretudo no que diz respeito à questão representacional.

Computacionalmente, o software é um simulador calculador. Porém, as formas de saída do calculador incluem simulação de curvas da variação da quantidade dos componentes do equilíbrio em função do tempo, bem como uma animação representando esquematicamente a dimensão sub-microscópica do processo simulado. Em relação à maioria dos softwares analisados, o repertório de recursos representacionais do software configura uma grande

vantagem em relação aos demais, principalmente por favorecer a integração simbólica entre as representações gráficas, numéricas e sub-microscópicas. Outro grande avanço é a integração temporal das representações e o fato dos gráficos serem construídos de modo a explicitar a variação das concentrações das espécies com o tempo. Juntos, estes fatores contribuem para a representação dinâmica do fenômeno, cobrindo vasta lacuna conceitual deixada em aberto pelos calculadores simples. Porém, apesar dos avanços, valem aqui também as ressalvas aos simuladores. O software deixa em aberto também a dimensão fenomenológica, não havendo qualquer conexão com o universo macroscópico considerado.

Do ponto de vista da abrangência de exemplos de sistemas reacionais, é também notável que o software mais apropriado do conjunto analisado dedica-se ao estudo de reações em fase gasosa, o que limita consideravelmente o espectro de associação temática do software. Embora equilíbrios em fase gasosa como aquele envolvido na síntese da amônia seja um exemplo recorrente com implicações sócio-econômicas e ambientais inquestionáveis, encontramos lacunas ao buscar alternativas aos calculadores para tratar de sistemas aquosos, os quais são fundamentais para que se possa estabelecer conexões temáticas genuínas entre atividades de ensino envolvendo software e questões mais abrangentes do mundo contemporâneo. Esta lacuna é particularmente incômoda no universo de softwares sobre equilíbrio químico, pois constitui-se numa dificuldade para aqueles que desejam aproveitar o potencial destas ferramentas de modo a contemplar uma contextualização verdadeira de um conceito central da Química. Ademais, se o software não favorecer uma conexão temático-conceitual direta com o tema gerador adotado pelo professor, aumenta o risco de se tornar um acessório. Como tal, sua eficácia instrucional fica muito comprometida. Portanto, considerar a possibilidade de contemplar a contextualização deveria ser uma preocupação constante já na concepção dos softwares, de modo a se evitar seu uso em contextos para os quais o entorno sócio-histórico da Química é mero acessório.

No tocante aos aspectos tecnológicos, a maioria dos softwares foi desenvolvida com tecnologia computacional já defasada – na maioria dos casos, de pelo menos uma década - o que dificulta o acesso e a exploração de novos recursos de comunicação surgidos nos últimos 5 anos, especificamente aqueles referentes a chamada “web 2.0”, como as redes sociais. Esta questão é central no caso deste tipo de recurso, uma vez que, em muitos casos, a defasagem tecnológica impede o uso do software, ou causa muitos obstáculos e limitações para fazê-lo funcionar.

Finalmente, considera-se que uma parte destes softwares é comercial e em língua inglesa, dificultando enormemente sua utilização pela imensa maioria dos estudantes brasileiros.

Considerações finais

As questões consideradas na discussão deste trabalho nos conduzem à conclusão de que ainda há um halo nas tecnologias de ensino dedicadas a trabalhar num aspecto tão central do ensino de química que é o equilíbrio químico. Se compararmos, ainda que não sistematicamente, a evolução na utilização das tecnologias da informação e do conhecimento para o desenvolvimento de ferramentas de ensino dedicadas a outros conceitos, notaremos que, de certa forma, o conceito de equilíbrio químico não tem recebido a atenção esperada para um conceito fundamental. A mudança deste quadro requer o engajamento de grupos de pesquisa em ensino em empreitadas que visem o desenvolvimento de softwares, os quais possam contemplar a integração da questão fenomenológica dos sistemas em equilíbrio. Enquanto simuladores, é também muito desejável que incluam os casos em que o Princípio de Le Chatelier não pode ser aplicado. Sublinha-se que o desenvolvimento destes softwares estejam

articulados com projetos de pesquisa educacional, condição que se mostra fundamental para a obtenção de recursos educacionais de real valia para professores e estudantes.

Agradecimentos

Agradecemos à FAPESP pela bolsa de doutoramento concedida à Erik Montagna.

Referências

AKKUS, H.; KADAYIFÇI, H.; ATASOY, B.; GEBAN Ö. Effectiveness of instruction based on the constructivist approach on understanding chemical equilibrium concepts, **Research in Science Teaching Education**, v.21, n.2, p.209-227, 2003.

BEN-ZVI, R.; EYLON, B.; SILBERSTEIN, J. Is an atom of copper malleable? **Journal of Chemical Education**, 63, 64-66, 1986.

BEN-ZVI, R.; EYLON, B.; SILBERSTEIN, J. Students' visualization of a chemical reaction. **Education in Chemistry**, July, 117-120, 1987.

CANZIAN, R.; MAXIMIANO, F.A. Princípio de Le Chatelier - O Que Tem Sido Apresentado em Livros Didáticos?. **Química Nova na Escola**, v. 32, p. 107-119, 2010.

CHEUNG, D.; MA, H.J.; YANG, J. Teachers misconceptions about the effects of addition of more reactants or products on chemical equilibrium **International Journal of Science and Mathematics Education**, ,v.7, p.1111-1133, 2009.

COSTA, T.S.; ORNELAS, D.L.; GUIMARÃES, P.I.C.; MERÇON, F. A corrosão na abordagem da cinética química. **Química Nova na Escola**, n.22, novembro, 2005.

GABEL, D. Modeling with magnets. **Science Teacher**, n.59, v.3, p. 58-63,1992.

JOHNSTONE, A.H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem, **Journal of Computer Assisted Learning**, I, p.75-83, 1991.

JUSTI, R.S.; GILBERT, J.K. Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modelers, **International Journal of Science Education**, v.24, p.369, 2002.

OZMEN, H. Determination of students' alternative conceptions about chemical equilibrium: a review of research and the case of Turkey, **Chemical Education Research and Practice**, v.9, 2007, p.225-233.

UNESCO - Padrões de competência em TIC para professores: diretrizes de implementação; versão 1.0, p.12, 2010.