**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE QUÍMICA**

Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Bioquímica)

ERIK MONTAGNA

**Conceitos alternativos sobre equilíbrio químico e
suas consequências no aprendizado de Bioquímica:
diagnóstico e intervenções recuperatórias.**

São Paulo

Versão Corrigida

O original se encontra disponível na Secretaria de Pós-Graduação do IQ-USP

01/09/2014

ERIK MONTAGNA

Conceitos alternativos sobre equilíbrio químico e suas consequências no aprendizado de Bioquímica: diagnóstico e intervenções recuperatórias.

Tese apresentada ao Instituto de Química da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Doutor em Ciências (Bioquímica)

*Orientador: Prof. Dr. Bayardo Baptista Torres
Co-orientador: Prof. Dr. Guilherme Andrade Marson*

São Paulo

2014

Ficha Catalográfica

Elaborada pela Divisão de Biblioteca e
Documentação do Conjunto das Químicas da USP.

Montagna, Erik	
M758c	Conceitos alternativos sobre equilíbrio químico e suas consequências no aprendizado de bioquímica: diagnóstico e intervenções recuperatórias / Erik Montagna. -- São Paulo, 2014. 167p.
	Tese (doutorado) - Instituto de Química da Universidade de São Paulo. Departamento de Bioquímica. Orientador: Torres, Bayardo Baptista Co-orientador: Marson, Guilherme Andrade
	1. Bioquímica : Ensino I. T. II. Torres, Bayardo Baptista, orientador III. Marson, Guilherme Andrade, co-orientador
	574.19207 CDD

***Este trabalho é dedicado aos poucos
Grandes Professores que tive na vida.***

AGRADECIMENTOS

Eu queria escrever um longo panegírico a quem me ajudou, apoiou, incentivou, desestimulou, desanimou, complicou e tudo o mais que pode acontecer ao longo da criação desse trabalho. Não que não o valham, mas me parece que, em um documento oficial e cerimonioso como este, talvez não seja cabível. Também sei que receberia sugestões incisivas do orientador sobre a pertinência de certas palavras que me são usuais, e que caberiam ainda menos aqui. Mas que raios, é a minha Tese! Eu deveria poder dizer o que quisesse! Não procede. Nefelibatas são vigilantes sobre como devem ser todas as coisas e pouco me resta a não ser agradecimentos oficiais.

Pois bem, às favas com eles... os nefelibatas e as oficialidades!

É tudo culpa do Prof. Bayardo. Sou um afortunado. Ele mais de uma vez me acolheu em tempos tenebrosos e, certamente, fui o aluno mais indisciplinado, desbocado e teimoso que passou pelas suas mãos: dez anos de convivência não foram suficientes para aplacar meus ímpetos. Se a máxima de que *“burro não aprende, burro acostuma”* realmente se aplica, então não tenho salvação. Mas há quem diga que ele fez tanta diferença em mim a ponto de eu ser capaz de perceber *issos*. E eu digo que fez! Basta que me incline à estultície, respiro e ouço *“Precisa mesmo disso, Montagna?”*. Sua generosidade e paciência (imensuráveis!) têm profunda e indelével influência na minha vida, marcada pela sua figura extraordinária, pelo ambiente de trabalho inigualável que propicia, pela liberdade criativa, além de extrair de mim o que tenho de melhor: tudo isso graças à convivência consigo, que me é caríssima.

Também devo ao meu co-orientador, Prof. Guilherme Marson, que o é por feliz coincidência, já que nossa história é anterior a ele ser docente da USP e a eu ser seu aluno. Tenho o prazer de sua rara companhia e o aval para não ser tão normal. Apesar da escassez crônica de tempo que o acomete, ainda assim funcionaram alguns ardis que nos aproximaram um pouco mais.

Preciso dizer aqui que esse trabalho também não seria o mesmo sem as Profas. Iolanda Cuccovia e Clélia Ferreira, que nas deliciosas tardes primaveris de Bioquímica iluminavam meu ânimo nesse cinzento IQ. Sempre vou achar que poderia ter passado mais tempo com vocês.

Aqui devo ser justo com alguém que mudou o rumo da minha vida num dado momento: o Prof. Ronald Ranvaud. O namoro foi tórrido, a lua-de-mel um desastre, e o divórcio inevitável. Apesar dos pesares, ele me deu uma nova perspectiva da vida e das minhas origens. Que o tempo aplaque a ira desses italianos, pois sou tão grato quanto lamentoso pela forma como tudo findou-se.

E quantas conversas, conselhos, desabafos, revisões, alegrias e intimidades não foram compartilhadas e comungadas com os meus e A Minha! Mas como nenhum deles falou de equilíbrio químico ou *softwares* educacionais, eles não entram aqui. Fica para todos os próximos churrascos, *pappardelles*, viagens e violadas que faremos até o fim dos tempos. Afinal de contas, sem pão, não há circo.

Agradeço também à FAPESP pelos recursos concedidos no processo 2010/11608-1.

*“Um homem não vem com atestado de decência
e competência estampados na testa. O que faz
um homem ser Homem é o seu procedimento.
Você pode amarrar uma sacola de dinheiro
no lombo de um porco e pendurar um diploma
no pescoço dele, mas ele vai continuar sendo
um porco do mesmo jeito!”*

Sebastião Ferreira Martins (1928-2010)

Filósofo existencialista contemporâneo...
... e meu saudoso avô.

RESUMO

Montagna E. **Conceitos alternativos sobre equilíbrio químico e suas consequências no aprendizado de Bioquímica: diagnóstico e intervenções recuperatórias**. 2014. (166p.) Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências (Bioquímica). Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Grupos de pesquisa em ensino de bioquímica, patrocinados pela *International Union of Biochemistry and Molecular Biology* (IUBMB) procuram, atualmente, inventariar os conceitos-chave fundamentais para o ensino de bioquímica, face à grande expansão de conhecimentos. Um desses conceitos é o de equilíbrio dinâmico, pela sua ubiquidade (sistema tampão, reversibilidade e sentido das reações, conceito de energia livre padrão e energia livre, cinética enzimática, regulação alostérica, potencial de redução, entre outros). Dada a importância dos conceitos fundamentais para a construção de novos conhecimentos, é necessário que eles não estejam distorcidos por conceitos alternativos. Como há notável escassez de dados sobre equilíbrio químico no aprendizado de Bioquímica, esta tese produziu (1) a prospecção de conceitos alternativos bioquímicos; (2) a proposição de estratégias instrucionais que corrijam ou atenuem os conceitos encontrados. Para a consecução do item (2) foi desenvolvido, aplicado e avaliado um *software* que simula situações de equilíbrio químico contextualizadas nos tópicos de Bioquímica. Os resultados mostraram que os alunos: i. possuem graves falhas conceituais em equilíbrio químico, mesmo em questões simples; ii. incorporaram frases lapidárias da química fundamental, sem conseguir compreender os fundamentos dessas assertivas; iii. aplicam as manipulações matemáticas envolvidas nos problemas de equilíbrio químico sem conseguir compreender os fenômenos envolvidos; iv. tratam o equilíbrio químico fundamentalmente de forma algébrica, sem considerar a natureza do fenômeno; v. não conseguem aplicar os conceitos de equilíbrio químico em uma situação nova, mesmo numa situação voltada para os conceitos de bioquímica. O *software* produzido foi um Simulador Virtual de Eletroforese (SVE), que integra os níveis de representação do fenômeno químico; foi construído com perspectiva de utilização *online* tendo sido desenvolvido nas plataformas Java Script, HTML5 e CSS, compatível com padrões tecnológicos internacionais (*World Wide Web Consortium*). Os resultados de sua aplicação em uma disciplina de graduação mostraram que a intervenção proporcionou um aumento nos acertos em testes diagnósticos aplicados aos alunos em comparação ao grupo que não sofreu intervenção. Concluiu-se que o SVE foi capaz de atenuar conceitos alternativos previamente diagnosticados e que é necessário produzir ferramentas específicas de intervenção para conceitos alternativos identificados.

Palavras-chave: Ensino de Bioquímica; Softwares educacionais; Conceitos Alternativos em Equilíbrio Químico; Simulador Virtual de Eletroforese.

ABSTRACT

Montagna E. **Misconceptions on chemical equilibrium and its consequences in Biochemistry learning: diagnosis and interventions. 2014.** (166p.) PhD Thesis - Graduate Program in Biochemistry. Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Research groups in teaching biochemistry, sponsored by the International Union of Biochemistry and Molecular Biology (IUBMB) seeking currently inventorying the key fundamental concepts for teaching biochemistry, given the great expansion of knowledge. One of these concepts is the dynamic balance by their ubiquity (reduction potential, among other buffer system, and reversible reactions the direction of the concept of standard free energy, free energy, enzyme kinetics, allosteric regulation). Given the importance of the fundamental concepts for the construction of new knowledge, it is necessary that they are not distorted by alternative concepts. As there is remarkable paucity of data on the chemical balance of Biochemistry learning, this thesis produced (1) the exploration of alternative biochemical concepts; (2) the proposition of instructional strategies to correct or mitigate the concepts found. To achieve the item (2) was developed, implemented and evaluated a software that simulates situations contextualized chemical balance in the topics of biochemistry. The results showed that students i. have serious conceptual flaws in chemical equilibrium, even in simple matters; ii. incorporated terse phrases of fundamental chemistry, unable to understand the fundamentals of these assertions; iii. apply the mathematical manipulations involved in the problems of chemical equilibrium unable to understand the phenomena involved; iv. treat the chemical balance essentially algebraic way, without considering the nature of the phenomenon; v. fail to apply the concepts of chemical equilibrium in a new situation, even in a situation facing the concepts of biochemistry. The software was produced a Virtual Simulator Electrophoresis (EVS), which integrates the levels of representation of chemical phenomenon; was built with the prospect of using online platforms have been developed in Java Script, HTML5 and CSS, compatible with international technological standards (World Wide Web Consortium). The results of its application in a undergraduate course showed that the intervention resulted in an increase in accuracy for diagnostic tests applied to students in the comparison group who did not undergo intervention. It was concluded that the EVS was able to mitigate previously diagnosed and alternative concepts that are necessary to produce specific intervention tools identified for alternative concepts.

Keywords: Biochemistry teaching; Educational softwares; Misconceptions on chemical equilibrium; Electrophoresis Virtual Simulator.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	25
3. PROCEDIMENTOS.....	26
3.1. MAPEAMENTO DE CONCEITOS ALTERNATIVOS E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA O APRENDIZADO DE BIOQUÍMICA.....	28
3.1.1 A estrutura da disciplina.....	30
3.1.2 Relato de um Grupo de Discussão.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1. ETAPA I: DEFINIÇÃO DO DIAGNÓSTICO, SELEÇÃO DO ESPAÇO AMOSTRAL E FUNDAMENTAÇÃO DAS ESCOLHAS INICIAIS.....	35
4.1.1 Conclusões do primeiro ciclo de prospecção de conceitos alternativos.....	47
4.2. ETAPA II: REFINAMENTO DOS TESTES, DEFINIÇÃO DO PÚBLICO ALVO E INTERVENÇÕES RECUPERATÓRIAS (SEGUNDA RODADA DE DIAGNÓSTICOS).....	48
4.2.1 Comparação entre turmas diferentes.....	51
4.2.2 Intervenção I.....	66
4.2.3 Diagnóstico 2 – Pós Intervenção.....	68
4.2.4 Conclusões parciais para a Etapa II.....	82
4.3. ETAPA III: CONCEPÇÃO, CONSTRUÇÃO, APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DO SOFTWARE.....	84
4.3.1 Prospecção de softwares disponíveis que tratem de Equilíbrio Químico.....	84
4.3.2 Construção do <i>Software</i> – concepção, objetivos e	

dificuldades.....	96
4.3.3 Dificuldades e particularidades da construção de ferramentas computacionais.....	97
4.3.4 Construção e apresentação do software.....	98
4.3.5 O Simulador.....	109
4.3.6 O roteiro de estudos.....	122
4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	124
4.4.1 Resultados observacionais.....	125
4.5. CONCLUSÕES.....	142
5. DISCUSSÃO GLOBAL.....	144
6. REFERÊNCIAS.....	153
APÊNDICE I – ROTEIRO DE ESTUDOS DO SVE.....	161
APÊNDICE II – CD-ROM.....	167

SÚMULA CURRICULAR

DADOS PESSOAIS

Nome: Erik Montagna

Local e data de nascimento: São Paulo, SP, 31/10/1979

EDUCAÇÃO

Colégio Cruzeiro do Sul, São Paulo, SP (1985-1994)

Colégio Argumento – Objetivo São Paulo (1995-1997)

Universidade de São Paulo (1998-2003)

Bacharelado em Farmácia e Bioquímica.

Universidade de São Paulo (2005-2008)

Mestrado em Ciências (Bioquímica).

OCUPAÇÃO

Bolsista de Doutorado, FAPESP

Processo 2010/11608-1

Duração da Bolsa: 11/2010 a 10/2013.

PUBLICAÇÕES

MONTAGNA E, MORENO JAR, VERDE MJC, MAIFRINO LBM. Posters as an instructional strategy for interdisciplinary teaching: an approach for applying anatomy to practical situations in a pharmacy course. *Journal of Morphological Sciences*, v. 28, p. 255-260, 2011.

MONTAGNA E, GUERREIRO JR, TORRES BB. Biochemistry of the envenomation response-A generator theme for interdisciplinary integration. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, v. 38, p. 91-96, 2010.

MONTAGNA E, DE AZEVEDO AMS, ROMANO C, RANVAUD R. What is transmitted in "synaptic transmission"? *Advances in Physiology Education*, v. 34, p. 115-116, 2010

MONTAGNA E, TORRES BB. Expanding ecological possibilities: Biological nitrogen fixation updated. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, v. 36, p. 99-105, 2008

MONTAGNA E, TORRES BB, MOULATLET ACB, MARSON GA. Análise de aplicativos educacionais sobre equilíbrio químico. In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências - I Congresso Iberoamericano de Investigación en Enseñanza de las Ciencias, 2011, Campinas. Atas do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, 2011.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o crescimento exponencial do conhecimento das ciências biológicas tem tido reflexos no ensino de suas disciplinas, uma vez que não é mais possível para os educadores ensinar todos os conceitos que aparecem cada vez mais nos livros texto. Isto ocorre pela impossibilidade temporal de incorporação de conteúdos adicionais nas já saturadas matrizes curriculares dos cursos de graduação.

Entre as diretrizes para lidar com esse cenário, novas estratégias de ensino são sugeridas. Uma das formas preconizadas é a adoção do aprendizado ativo (Cherney, 2008), cujo propósito é produzir um ambiente de ensino que estimule a capacidade do aluno em ser autônomo e independente para continuar aprendendo ao longo da vida (*Lifelong Learning*). O reconhecimento da importância desta recomendação consoma-se no acordo de Bolonha (*European Higher Education Area*, 1999) que, além de oferecer diretrizes para tornar semelhantes os cursos oferecidos pelos países membros da Comunidade Europeia, oferece claras recomendações para a adoção do aprendizado ativo.

Somada à explosão de conhecimento, a pesquisa científica tem se movido cada vez mais para o estudo de sistemas complexos. Assim, a sobreposição e o entrelaçamento dos conhecimentos de diversas áreas do saber têm aumentado juntamente com o crescimento de dados derivados da pesquisa, aprofundando a compreensão de todas elas. Com a atenuação dos limites antes característicos de cada disciplina, os órgãos voltados para o estudo de novas formas de tratamento pedagógico dos conteúdos são unânimes em recomendar a inserção de aspectos interdisciplinares nos cursos de graduação. A literatura nesse campo é vasta e bem

estabelecida (Desjardins, 2008). Diante destas duas considerações, um ponto crítico é a acomodação dos conteúdos.

Uma tentativa de atenuação dos problemas apontados é encontrar os conceitos fundamentais geradores dos conceitos secundários presentes em várias áreas do conhecimento. Uma vez fortalecidos, estes constituirão uma base sólida para novas construções vinculadas a diferentes subáreas do conhecimento, e darão sustentação para um aprendizado autônomo e eficiente (Canpolat et al. 2006). Portanto, mapear os conteúdos mais fundamentais é uma demanda cuja premência não pode mais ser ignorada. Do ponto de vista epistemológico, a alternativa natural é procurar os conceitos para os quais muitos conteúdos convergem, visando o reducionismo unificador.

Nesse contexto, um esforço internacional de grupos de pesquisa em ensino de Bioquímica lança o projeto *Molecular Life Sciences Concept Inventories* (Hamilton, 2010), apoiado e patrocinado pela *International Union of Biochemistry and Molecular Biology* (IUBMB). Esta é uma iniciativa conjunta de diversos grupos que, desde 2006, tenta inventariar os conceitos-chave fundamentais para o ensino de Ciências Biológicas (*Life Sciences*), especialmente a Bioquímica (Howitt et al., 2008). Esse inventário de conceitos fundamentais (Hestenes et al., 1992) procura embasar o ensino de Bioquímica sobre os conceitos-chave que dão suporte para essa disciplina da forma mais reducionista possível. O processo de criação de inventários conceituais passa por critérios que não serão abordados no presente trabalho.

Um dos pontos de convergência mais fundamental e unificador para a construção dos conhecimentos em *Molecular Life Sciences* é o conceito de equilíbrio

dinâmico (Tibell, Rundgren, 2010). Tal compreensão ganha destaque em Bioquímica pela ubiquidade do conceito de equilíbrio químico, como se verá adiante. Dada a importância dos conceitos fundamentais para a construção de novos conhecimentos, é necessário assegurar que eles não estejam distorcidos pela ocorrência de conceitos alternativos (Mortimer, 2000).

A literatura sobre o ensino de Química fundamental aponta para a existência de conceitos alternativos sobre equilíbrio químico (EQ). Os dados mostram uma grande quantidade de conceitos alternativos provenientes do ensino médio (Akkus et al, 2003), cuja origem pode ser atribuída, pelo menos em parte, aos próprios professores que carregam consigo conceitos alternativos sobre equilíbrio químico (Cheung et al., 2009) e sua natureza fenomenológica – notavelmente uma associação inconsistente com o princípio de Le Chatelier (Cheung, 2009). Além disso, há dados sobre os conceitos alternativos em EQ dentro do enfoque dos diferentes níveis de representação (Carobin, Serrano, 2007), que será abordado adiante.

Essa literatura trata mormente de três grandes eixos: (1) a incompreensão do conceito de equilíbrio químico e sua interferência em conhecimentos centrais da química (eletroquímica, termodinâmica e cinética), (2) detecção desses conceitos alternativos e (3) estratégias e relatos de caso visando superar tais dificuldades (Özkaya, 2002).

Equilíbrio é um conceito central na Química sem o qual não é possível a compreensão e explicação das 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, estendidas também para os estudantes do ensino superior (Akkus et al., 2003). A análise da origem de tais dificuldades revela diversos fatores interoperantes. Dentre estes, salientam-se as concepções formuladas pelos estudantes, divergentes da proposição científica do conceito. Muitas destas são criadas e reforçadas inadvertidamente 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, 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 só 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 prevalência de conceitos alternativos constitui um problema pedagógico importante. Sendo a Química uma ciência construída sobre conceitos, a lógica de sua estrutura depende do rigoroso estabelecimento dos conceitos fundamentais. Desvios dos significados corretos comprometerão o entendimento dos fenômenos derivados dos conceitos básicos (Hovardas, Korfiatis, 2006).

A gênese de tais concepções está diretamente ligada às analogias presentes nos materiais didáticos e ao seu uso em sala de aula (Raviolo, Garritz, 2008). É já sabido que as analogias visuais e as questões ligadas à visualização e à representação de fenômenos submicroscópicos – 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, 2009). 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 equivocados, como aqueles acima enunciados.

Com relação às representações do fenômeno, deve-se destacar 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 (Gabel, 1992; Johnstone, 1991): os conceitos químicos apresentam três níveis de representação: o macroscópico (fenomenológico), o microscópico (submicroscópico) 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; Ben-Zvi et al., 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, conferindo, por exemplo, a corpúsculos, como átomos e moléculas, propriedades dos objetos macroscópicos.

Indo além nesta questão, e contemplando também sua relação com a formação de conceitos alternativos, após um profundo levantamento verificou-se que há notável escassez de dados sobre a interferência dos conceitos alternativos sobre equilíbrio químico no aprendizado de Bioquímica (Cliff, 2009; Sears et al., 2007). Esta lacuna tem graves consequências uma vez que conceitos alternativos gerados na disciplina de Química muito provavelmente repercutem diretamente no aprendizado de Bioquímica e, indiretamente, nas disciplinas dela dependentes. Isto deve ocorrer pois a estrutura curricular, baseada em sequência instrumental, admite que disciplinas pré-requisito forneceram as informações necessárias para a continuidade do estudo que delas depende. Por outro lado, muitas das soluções encontradas para resolver os problemas em sua origem ficam, pelo mesmo encistamento das disciplinas, restritas a elas.

Um levantamento preliminar e incompleto de tópicos de Bioquímica fundamentados em equilíbrio químico inclui:

1. Sistema tampão
2. Reversibilidade e sentido das reações (Conceito de energia livre padrão e energia livre - ΔG^0 e ΔG).
3. Cinética enzimática ($E + S \rightleftharpoons ES$)
4. Regulação alostérica (Efetuador + Enzima $\rightleftharpoons$ Efetuador-Enzima)
5. Potencial de redução padrão e potencial de redução (E^0 e E)
6. Interação ligante-receptor

Portanto, a compreensão do conceito de equilíbrio químico dá suporte a grande parte dos tópicos presentes nos conteúdos programáticos de Bioquímica, de forma que a existência de conceitos alternativos é um limitante expressivo na

construção do conhecimento deles derivados. Além disso, há repercussão dessas mesmas dificuldades no aprendizado de disciplinas para as quais a Bioquímica é pré-requisito, como Fisiologia, Farmacologia, Imunologia, entre outras.

Dois aspectos a serem levados em consideração quanto à importância dos conceitos alternativos são a dificuldade de sua detecção e a sua persistência no universo cognitivo do aprendiz como base explicativa para os fenômenos a serem compreendidos (Michael, 2002).

Particularmente na Bioquímica, esses conceitos alternativos são impeditivos para o aprendizado de uma parte significativa das bases teóricas e dos fundamentos de conceitos centrais da disciplina. Assim, seria necessário verificar em qual extensão e profundidade o conceito de equilíbrio químico (EQ) estava comprometido. A proposta do presente projeto, entretanto, envereda por um halo nesses estudos, uma vez que eles não avançam nas consequências das falhas conceituais dos alunos nas áreas para as quais a química fundamental dá suporte. Desta forma, fez-se necessário verificar tanto o nível de proficiência dos alunos no conceito de equilíbrio químico como a habilidade do aluno em aplicar esses conhecimentos numa disciplina diferente daquela na qual os conceitos foram adquiridos.

Por fim, 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 (Eichler, Del Pino, 2010). Esta prerrogativa tem sido impulsionada concretamente por políticas oficiais

de incentivo à implementação das tecnologias da informação e do conhecimento no ensino de ciências (UNESCO, 2010).

A UNESCO tem preconizado o uso de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) na educação (UNESCO, 2010). Essa proposição se justifica como meio de ampliar o leque de intervenções possíveis na educação, como forma de inclusão digital e como facilitador da expansão do conhecimento. Em sintonia com as recomendações internacionais, e considerando a excelência e proficiência do grupo em desenvolvimento de *softwares* educacionais, propusemos a construção de um *software* que possa atuar especificamente na questão do conceito de equilíbrio químico em Bioquímica.

Esta estratégia de intervenção é apropriada para a tentativa de remoção de conceitos alternativos (Moura et al. 2008). De fato, um dos critérios a serem adotados para o enfrentamento do problema é tratá-lo por meio de uma linguagem diferente daquela inicialmente utilizada para sua apresentação. Ora, no caso do equilíbrio químico, as linguagens utilizadas são a verbal e a simbólica, através de gráficos e equações matemáticas, ou ainda jogos didáticos (Soares et al. 2003).

Neste contexto, considera-se pertinente identificar um repertório de *softwares* sobre equilíbrio químico facilmente localizáveis na Internet, e analisá-los quanto à possibilidade de atender à expectativa que recai sobre os recursos computacionais com finalidade educacional. Os *softwares* devem ser utilizados 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 (Costa et

al. 2008); e as margens que abrem para favorecer ou não a criação e validação de concepções não científicas sobre equilíbrio químico (Liu, 2010).

Análise de Erros como Ferramenta Diagnóstica

As ciências cognitivas têm se debruçado sobre os erros humanos. Sua natureza e modelos teóricos foram propostos para vários tipos de situações em que ocorrem tais erros, desde a forma como ocorre a interpretação de texto, até questões ergonômicas no controle de processos críticos, como usinas nucleares ou controle de tráfego aéreo. Todos possuem elementos que podem ser trazidos para o estudo dos erros cometidos pelos alunos em questões de prova, testes, diagnósticos ou determinado discurso na sala de aula (Montagna et al. 2010). O ponto é que não existe uma síntese entre todos esses campos, ou ainda, não há um referencial claro a ser adotado no que tange à análise de respostas dos alunos num determinado cenário. Mesmo assim, elementos podem ser pinçados de outras áreas e, ainda que superficialmente, ou correndo risco de imprecisões, não é possível ignorar certos paralelos.

Desta maneira, não é possível ignorar que as questões elaboradas nos diagnósticos, antes de apresentarem desafios em química, possam ser desafios de interpretação de texto, como já mostrado anteriormente pelo grupo (Scatigno, 2011). O que se admite aqui, no entanto, é que, dado o público alvo para a realização dos diagnósticos, assume-se que tal barreira é potencialmente menor se comparado ao público do trabalho citado. Mesmo assim, a questão da interpretação do texto vai além da questão estrita da linguagem, e perpassa outros elementos que têm forte paralelo com a questão de significação simbólica e literacia científica (Coleman et al.

1997). Segundo Spinillo e Hodges (2012), diversos fatores concorrem para a compreensão de textos: fatores linguísticos, como a capacidade de decodificação, o vocabulário e o conhecimento sintático; fatores cognitivos, como a memória de trabalho, o monitoramento e a capacidade de estabelecer inferências; fatores sociais, que envolvem as circunstâncias em que a leitura ocorre (contexto social, objetivos, motivações e expectativas do leitor); os conhecimentos prévios do leitor e sua bagagem sociocultural.

Desnecessário ressaltar aqui o paralelo inegável com as questões do ensino de ciências, sobretudo no que concerne aos conhecimentos prévios do leitor, e no caso do presente trabalho, do aluno. Ainda em Spinelli e Hodges (apud Kintsch 1998), há alusão aos modelos teóricos que buscam explicar o processo de compreensão textual, enfatizando o de Construção-Integração (CI) proposto por Kintsch (1998) em que a compreensão de textos é concebida como:

“(...) a construção de uma representação mental coerente, elaborada a partir de três instâncias: os elementos textuais, o leitor e a interação entre ambos. O modelo especifica duas fases que ocorrem de forma cíclica durante o processo: a fase de construção, na qual as representações mentais são gradativamente construídas a nível local, a partir dos significados das palavras e das proposições; e a fase de integração, na qual o leitor constrói sentidos ao associar as novas informações às informações antigas já apresentadas no texto e que fazem parte de seus conhecimentos prévios. O modelo considera duas instâncias: o texto-base e o modelo situacional. O texto-base é uma representação fortemente baseada na integração das proposições explicitadas no texto, enquanto o modelo situacional consiste na integração entre o que o texto traz como informação e as elaborações do leitor a partir de seus conhecimentos prévios. O modelo situacional seria, então, o

espaço em que ocorrem as inferências que possibilitam que o leitor complemente as informações que não estão explicitamente mencionadas no texto. De acordo com este modelo, as inferências participam da integração de informações e a construção de sentidos, sendo a compreensão de textos um processo essencialmente inferencial.”

Diante dessas premissas, é lícito verificar o paralelo entre o jargão do ensino de ciências e os pontos críticos no estudo cognitivo da interpretação de textos.

Portanto, ao analisar as respostas dos alunos às questões elaboradas no diagnóstico, foi possível delinear novos testes que favorecessem ou permitissem o surgimento de respostas que pudessem fazer emergir a natureza do erro cometido na questão. Disso decorre um ponto fulcral no presente trabalho, que é a forma de olhar o erro e o acerto do aluno.

Os acertos dos alunos em questões de provas ou em testes diagnósticos são dados pobres, pois pouco informam acerca do processo mental ou do pensamento que ocorreu ao aluno na resolução do problema. Evidentemente não há acesso ao pensamento do indivíduo, e mesmo a análise do discurso (em suas diversas facetas e possibilidades), assim como outras ferramentas que buscam analisar na expressão ou no ato ideias implícitas em maior ou menor grau, dependem de um arcabouço teórico e circunstâncias de aplicação e uso que são impeditivos para uma estrutura não concebida para tal fim, ou ainda, para uso e aplicação no cotidiano do professor que tem em mãos as provas dos seus alunos (Larkin, 2012). Entretanto, os erros cometidos potencialmente revelam concepções, acepções e podem dar pistas sobre o que se passou no ato da resolução do problema apresentado ao aluno.

Assim, considerando-se que o professor é capaz de formular questões ou situações problema que são claras, não induzem o aluno ao erro, não cobram informações derivadas de memorização, não usam a língua vernácula e sim representações simbólicas – e podem cobrar a integração dos níveis representacionais –, são conceitualmente corretas, permitem a manifestação do aluno (discursivas), são capazes de revelar ideias dos alunos sobre um dado assunto (Duboc, 2001). Portanto, a manifestação exarada pelo aluno na resposta errada permite a captação de elementos que expressem de alguma forma a origem do erro cometido (Coley, Tanner, 2012).

Uma vez que não é possível estabelecer uma gradação do erro cometido, ou ainda, estabelecer graus de gravidade no erro cometido; parte-se do princípio de que houve um erro, e que, portanto, deve-se propor formas e estratégias para abordar o assunto no processo instrucional que evite o surgimento do erro encontrado ou que atenuie sua ocorrência. O objetivo, portanto, foi agrupar os erros em categorias nas quais o tipo de resposta fornecida tenha sido semelhante em forma e princípio. Desta forma, ao invés de serem aplicadas o que seriam categorias pré-estabelecidas, foram sendo criadas categorias ao longo das correções dos testes, de maneira que podem existir outras ou mais categorias, aqui não explicitadas. Ainda assim, a defesa aqui feita sobre essa questão é de que, ainda que haja a acusação de que se tenha debruçado sobre minudências excessivas, é mais proveitoso reconhecer *a posteriori* que houve excesso de categorizações do que negligência de detalhes que pudessem vir a esclarecer um determinado tipo de erro ou ainda, dar pistas sobre outros tipos de erros que não foram previamente categorizados.

Por fim, como não há testes padronizados para análise de erros – e entendemos que nem seja possível produzir tal sorte de ferramenta, muito menos num espectro que compreenda todas as possibilidades de erros em todo um currículo (esse é um pensamento que chega a ser absurdo!) – e nem formas estabelecidas para avaliar a natureza dos erros cometidos pelos alunos, é razoável propor que os erros ora descritos, bem como a análise proposta para os mesmos, seja passível de discussão. Mais do que isto, propõe-se que se olhe para o erro com mais diligência, pois os dados obtidos no presente trabalho sugerem fortemente que há mais informações sobre as concepções, formação de conceitos, utilização de ferramentas, forma de resolução de problemas e interferências do processo instrucional quando o aluno erra do que quando acerta uma dada questão. Idealmente espera-se que sempre acertem, mas o processo de ensino-aprendizagem não tem como ser ideal, por ser humano.

Sobre a identificação da origem dos erros, em geral, é possível agrupar erros que possuem forma similar, sobretudo na resposta dada e no caminho explicitado até essa resposta. Um teste deixado em branco ou uma resposta numérica dura, isto é, sem o desenvolvimento do raciocínio (ainda que com a resposta correta) são sempre mais pobres do que aqueles em que o aluno se manifesta com maior desenvoltura e furor.

2 OBJETIVOS

- Prospecção de conceitos alternativos bioquímicos derivados de conceitos alternativos sobre equilíbrio químico.
- Proposição de estratégias instrucionais que corrijam ou atenuem os conceitos encontrados.
- Desenvolvimento de um *software* destinado a simular situações em que fenômenos de equilíbrio químico sejam encenados sob a máscara de tópicos regulares de Bioquímica.
- Aplicação e avaliação do *software* produzido, tanto como instrumento de intervenção nos conceitos alternativos, como possível detector de outros conceitos alternativos não detectados anteriormente.

3 PROCEDIMENTOS

O mapeamento dos conceitos alternativos foi feito por meio de testes que tiveram que ser produzidos baseando-se tanto no descrito na literatura, como na inferência sobre como esses CAs potencialmente interfeririam no aprendizado de Bioquímica. Assim, todos os testes e questões foram criados para o presente trabalho e não estavam descritos na literatura.

Assim, o trabalho é basicamente dividido em ciclos de diagnóstico e intervenção, *grosso modo*, como ilustrado na Figura 3.1 abaixo.

Figura 3.1: Ordem de trabalho para os diagnósticos e intervenções.

Figura 3.1: O trabalho de intervenção sobre os conceitos alternativos deve ser monitorado por meio de diagnósticos.

Ou seja, os alunos respondem a questões em um diagnóstico anterior ao início das atividades da disciplina, ou anterior ao assunto que será tratado, visando sondar seus conceitos prévios, sofrem a intervenção proposta no trabalho e, posteriormente, passam por outra rodada de testes visando verificar quanto a intervenção teve efeito sobre os conceitos alternativos anteriormente detectados.

Por fim, cada uma dessas etapas possui particularidades, e estas foram norteadoras de decisões tomadas na sua elaboração e consecução. De forma geral, o processo foi ciclicamente revisado e refinado de acordo com os pontos apresentados no esquema a seguir:

Figura 3.2: Esquema de trabalho de elaboração de diagnósticos e intervenções.

Figura 3.2: O esquema de diagnósticos e intervenções deve ser cíclico, pois os resultados obtidos em cada etapa são norteadores para o refinamento da seguinte. As questões ora colocadas são críticas para a elaboração dos instrumentos utilizados em cada etapa mostrada.

Assim, a resposta para cada pergunta feita acima será respondida ao longo do trabalho quando forem mostrados os princípios dos testes criados, bem como os resultados obtidos e as possibilidades de interpretação dos dados.

3.1 MAPEAMENTO DE CONCEITOS ALTERNATIVOS E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA O APRENDIZADO DE BIOQUÍMICA

Foi necessário produzir testes que levassem em consideração tanto a contextualização do EQ para a Bioquímica, como estivessem de acordo com os aspectos levantados na Introdução. Uma outra decisão tomada foi verificar o perfil de erros dos alunos em diferentes condições.

Foi escolhido realizar o diagnóstico em alunos de instituições e condições consideradas de alto nível. Os critérios foram essencialmente baseados em desempenho no vestibular (para alunos do ensino médio), nas avaliações do Enade (para alunos de Instituições de Ensino Superior com nota alta nessa avaliação) e nos alunos do curso de Farmácia desta Universidade. O espaço amostral foi constituído por:

1. Estudantes do ensino médio ($n = 41$) de uma escola privada de alto nível, que já haviam recebido todo o conteúdo químico previsto para este nível de escolaridade.

2. Estudantes de Farmácia ($n = 64$) de uma Faculdade privada de alto nível (ou seja, com a mais alta classificação em sua categoria no ENADE 2010). Os testes foram aplicados no final do primeiro ano do curso, durante o qual os estudantes tiveram a oportunidade de cursar três disciplinas de Química: Geral, Orgânica e Inorgânica.

3. Estudantes de Farmácia ($n = 81$), da mesma Faculdade, mas no final do segundo ano, tendo completado as disciplinas de Bioquímica de Biomoléculas e Físico-Química.

4. Estudantes de Farmácia ($n = 63$) de uma Universidade pública (Universidade de São Paulo - USP), matriculados na disciplina de Bioquímica, que já haviam completado as disciplinas de Química Geral, Orgânica I e Química analítica qualitativa. Concomitantemente com a Bioquímica, cursavam Físico-química, Química orgânica II e Química analítica quantitativa.

Alunos do primeiro e segundo grupos foram submetidos a testes idênticos. Aos alunos do terceiro e quarto grupos, foram aplicados os mesmos testes, acrescidos de uma questão no nível de Aplicação (diferente para os grupos 3 e 4), segundo a Taxonomia de Bloom (Bloom, 1956). Cumpre-se esclarecer que os alunos completaram os testes de forma totalmente voluntária e foi solicitado aos mesmos que não deixassem qualquer forma de identificação em suas respostas. Por este motivo, e porque os testes não foram aplicados todos ao mesmo tempo, o número total de respostas obtidas variou. Esta pequena variação no n dos grupos avaliados está indicada nos Resultados.

Cabe ainda advertir que nem todos os testes foram aplicados a todos os alunos, uma vez que os conteúdos prévios a que os alunos tiveram acesso variaram. Conforme os dados eram obtidos e os resultados mostravam variação pouco significativa entre os diferentes grupos, optou-se por concentrar a coleta de dados num grupo de alunos mais disponível e supostamente de nível de formação anterior mais elevado (ou ainda, que foram a submetidos a processos seletivos mais

competitivos), o que possibilitaria inferir que não poderia ser encontrado resultado superior em outro grupo.

3.1.1 A estrutura da disciplina

A disciplina de Bioquímica é baseada em estratégia ativa, com períodos de estudo (PE) e grupos de discussão (GD), sem qualquer aula expositiva ao longo de todo o semestre. A turma é dividida aleatoriamente em três grupos sob a responsabilidade de três docentes que usam o mesmo material e a mesma estratégia. Os PEs são acompanhados por monitores e docentes, onde os alunos em pequenos grupos (não mais que cinco alunos por grupo) respondem questões de um roteiro determinado com o auxílio de livros previamente fornecidos. Após o cumprimento dessa etapa, que tem um período pré-determinado para ser cumprida, há o GD. Nesse momento, é formado apenas um grande grupo em círculo onde uma nova rodada de questões deve ser respondida, cujas respostas não estão presentes imediatamente nos livros, e possuem um nível de complexidade cognitiva mais elevada. Essa discussão é acompanhada pelo docente e conta com sua intervenção direta para que a discussão não avance sem que os conceitos ali abordados estejam corretos. Outro aspecto importante desse momento é que o docente não fornece nenhuma resposta e conduz a discussão de forma que os alunos possam gerar a resposta para os questionamentos. Essa postura encontra vasto respaldo na literatura especializada (Smith et al. 2009, Osborne, 2010). Em determinados momentos são utilizados *softwares* educacionais na mesma lógica do PE e seus resultados serão discutidos no GD subsequente.

3.1.2 Relato de um Grupo de Discussão

Em primeiro lugar solicita-se que os alunos disponham suas carteiras em um grande círculo, de forma que todos possam se ver, e sem que haja locais mais propícios para conversas paralelas. O professor faz parte deste círculo.

O professor se mantém impassível até que algum aluno se proponha a perguntar o que deve ser feito. Neste caso, todos já estavam avisados de que uma lista de questões diferente daquela estudada nos PEs seria resolvida naquele momento. Assim, o professor avisa aos alunos que o primeiro procedimento é ler a questão proposta. É evidente que no primeiro GD há momentos de longa pausa, pois tanto os alunos não sabem bem como se portar, como ainda há timidez em se manifestar. Mesmo assim, sabendo que é necessário resolver o questionário, poucos alunos mais extrovertidos (dada a estrutura da Universidade, poderíamos dizer destemidos) acabam se manifestando e lendo as questões e propondo respostas, também tímidas. Via de regra os alunos olham para o professor em busca de anuência para as respostas dadas, para efetivamente conferir se o que foi dito está correto. O professor segue impassível e pergunta ao grupo se a resposta dada está clara e o grupo concorda com a resposta dada.

Num dado momento quando o grupo segue com grande relutância quanto ao que se está respondendo, o professor avisa que nenhuma questão deixará de ser respondida e que ele garante que nenhuma resposta ficará errada. Entretanto deve-se notar que em momento algum o professor oferece a resposta correta para a questão – o que sabotaria irremediavelmente a estratégia – mas sempre responde aos questionamentos dos alunos com novas perguntas que problematizem ou criem situações que encaminhem à resposta ou ainda que sejam um obstáculo ao

caminho escolhido pelos alunos para a elucidação do caso. O professor se manifesta algumas vezes reafirmando que não vai permitir que o grupo siga com respostas erradas, mas que ele não dará respostas, e que seu papel é mediar o processo. Em geral os alunos que se manifestam são os mais desinibidos ou que têm alguma segurança com o conteúdo abordado.

Quando surge alguma situação em que se solicitam gráficos, estruturas ou esquemas, pede-se que um aluno se voluntarie para ir até a lousa e coloque aquilo que está sendo pedido ou que ele use o recurso gráfico para mostrar um ponto específico.

Quando surgem conversas paralelas, o professor solicita que todo o assunto seja tratado com o grupo e que, sejam dúvidas ou explicações, elas devem ser apresentadas ao grupo. E quando ocorrem manifestações, o professor afirma que não é necessário que se acredite no colega, mas que todas as informações podem ser consultadas no material disponível, seja nas anotações pessoais ou no livro emprestado aos alunos. E uma vez que os alunos acessam esse material, o professor lança mão de uma questão ou pergunta, eventualmente repetida, para ser rediscutida, e também pergunta se as informações apresentadas pelo grupo atendem o pedido na questão ou se resolvem a dúvida apresentada por um aluno. E a todo passo é pedida a manifestação dos alunos sobre o andamento da atividade e a anuência com as respostas dadas.

É muito comum que nos primeiros GDs os alunos sempre se dirijam ao professor para fazer perguntas, mas o professor pede que o aluno se dirija ao grupo e que o grupo se manifeste quanto à solicitação do aluno. Apesar de ser perturbador

para o aluno, e haver clara ansiedade e insegurança na atitude, o professor não responde às perguntas, mas sempre as dirige ao grupo.

Aos poucos começam a aparecer mais manifestações e os períodos de silêncio ficam mais curtos. Também é curioso que os alunos são mais lacônicos e complacentes com colegas de turma conhecidos, ao passo que, com alunos que não pertencem ao grupo (alunos especiais, por exemplo), as intervenções, em geral negativas, são mais instantâneas.

Caso algum aluno com mais desenvoltura se desvie do assunto, ou tente acelerar o processo sem que o grupo se manifeste quanto a isso, o professor segura a discussão buscando verificar com o grupo se aquilo que foi dito está claro para todos, e que expliquem. Como isso não acontece, então o professor solicita que o ponto seja esclarecido, mantendo o passo da discussão.

Essa dinâmica vai até o final das questões, e o professor dosa o tempo utilizado nas tarefas pra que tudo seja concluído dentro do estipulado no calendário. Mesmo assim, esse tempo foi estimado ao longo de muitas versões do curso e deve ser feito de acordo com o currículo.

Ao final da discussão, o professor reitera que os alunos são responsáveis pela exposição de suas dúvidas, e que não devem mantê-las consigo e sim resolvê-las no momento do GD. Por fim, pede que os alunos exponham sua opinião sobre o andamento do trabalho, mesmo sendo a primeira vez que eles fazem isso, é importante coletar as impressões.

A alegação mais recorrente é de que ainda é precoce qualquer avaliação por conta da novidade, mas que:

- Para conteúdos mais complexos ajuda a criar mais conexões;

- É melhor que assistir a uma aula convencional;
- Não se sentem obrigados a seguir o ritmo do professor, mas a desenvolver um próprio;
- Pode-se resolver exercícios conferindo a todo instante se entendeu ou não o conteúdo e não *a posteriori*, ou, pior, somente quando for estudar para a prova.

É verdade que o momento é precoce, mas a avaliação da atividade será repetida ao final de cada GD ao longo de toda a disciplina. Da mesma forma, a estrutura e a dinâmica do grupo vão evoluindo e o rendimento do trabalho aumenta ao longo do tempo, sobretudo com os papéis e tarefas cada vez mais claros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ETAPA I: DEFINIÇÃO DO DIAGNÓSTICO, SELEÇÃO DO ESPAÇO AMOSTRAL E FUNDAMENTAÇÃO DAS ESCOLHAS INICIAIS.

A seguir serão apresentados os resultados dos testes, que estão divididos por item de cada questão. Para cada teste serão explicados tanto o intuito da aplicação como o resultado esperado, e as consequências dos dados obtidos.

Esquema 4.1: Representação da organização temporal da disciplina de Bioquímica nas turmas da USP.

Esquema 4.1: Esquema representativo do calendário da disciplina de Bioquímica na USP, com a distribuição dos principais tópicos e os períodos de quatro horas de aula utilizados em cada assunto abordado. As setas vermelhas indicam o momento em que aconteceram os testes diagnósticos aqui relatados.

Teste 1:

Dada a reação química $X \rightleftharpoons U$ com $K_{eq} = 2$, desenhe na caixa abaixo uma situação que ilustre as proporções de espécies no equilíbrio químico.

Objetivo do teste:

A intenção dessa questão inicial foi obter uma indicação primária da percepção dos alunos sobre uma dada situação problema que envolva equilíbrio químico, por meio da manifestação livre diante de um questionamento sobre o assunto. Assim, foi oferecido um espaço em branco para que os alunos pudessem representar, de forma livre, os “elementos” da equação química oferecida no enunciado. Procurou-se verificar se a representação revela algum conceito alternativo quanto à compreensão do significado da K_{eq} , e se a ausência de símbolos de átomos comprometeria a compreensão dos símbolos da reação química; esperava-se que os alunos fossem capazes de ir além do formalismo algébrico/matemático e, possivelmente, verificar se eles absorveram o conceito e não apenas o formalismo.

A resposta de todas as turmas foi uniforme com acertos acima de 90%, sendo que os 10% restantes eram respostas em que havia uma inversão das proporções (o que foi considerado um erro menor, já que a percepção da proporção estava preservada) ou provindas de alunos que não compreenderam o teste. Foi notável que nenhuma representação tenha usado qualquer outra quantidade de matéria que não fosse apenas um símbolo U para dois símbolos X ($1U:2X$).

Houve um entendimento de que a questão foi muito simples, e um novo teste foi proposto. Dessa vez foi apresentada uma caixa com os símbolos em quantidade exatamente igual (9H:9X), espalhados aleatoriamente. A nova questão era a seguinte:

A reação química $X \rightleftharpoons H$, com $K_{eq}=2$, está representada na caixa abaixo. Esse sistema está em equilíbrio? Em caso negativo, desenhe ao lado a situação que representaria a reação no equilíbrio químico:

Essa nova situação apresentou resultados mais reveladores do que a anterior. Nesta tarefa fundamental, as respostas inequivocamente corretas, foram baixas: de 0% a 21% para os grupos testados. Os resultados podem ser observados no Gráfico 4.1 a seguir.

Um equívoco bem documentado na literatura é confirmado pelos dados em laranja no gráfico: muitos estudantes afirmam que o equilíbrio consiste em concentrações iguais dos reagentes e produtos (Machado, Aragão, 1996; Fabião, Duarte, 2005). Isso pode ser observado na respostas dos alunos que declaram que o sistema apresentado encontra-se em equilíbrio, sem qualquer razão para tanto.

Uma fração significativa dos alunos (entre 14 e 16%) respondeu apenas algebricamente a pergunta. Isto significa que eles simplesmente consideram os números envolvidos, ignorando que a pergunta é sobre um sistema fechado.

Gráfico 4.1 Perfis de ocorrência de acertos no Teste 1.

1. Alunos de ensino médio (n=41)

2. Alunos do 1o Ano (n=64)

3. Alunos do 2o Ano (n=81)

4. Alunos USP (n=68)

Legenda para os gráficos 1 a 4:

Gráfico 4.1: Categorização das respostas dadas pelos alunos no teste de resposta livre.

Teste 2:

Julgue os itens a seguir como verdadeiro (V) ou falso (F):

- a. Uma vez atingido o equilíbrio químico, não há mais nenhuma reação química ocorrendo.*
- b. Na reação da questão anterior, no equilíbrio químico, X continua se transformando em Y, e vice-versa.*
- c. Na reação química $\text{Cl} + \text{O} \rightleftharpoons \text{Cl}_2$, no equilíbrio químico, Cl_2 se transforma em Cl e O.*
- d. O equilíbrio químico é alcançado quando deixa de haver reação química.*
- e. Na reação química, $8 + 3 \rightleftharpoons 2$, no equilíbrio químico, 2 se transforma em $3 + 8$.*

Objetivo do teste:

A expectativa foi testar se os alunos concebem o equilíbrio químico como uma situação estática (itens a, b e d). Eles são questionados sobre o fato de as reações químicas cessarem num dado momento, sendo este momento o EQ. Nos demais itens (c e e), a estratégia é dupla: (1) alterar as representações das espécies envolvidas numa reação química, introduzindo caracteres (ou figuras) que em nada lembrem elementos ou símbolos conhecidos; (2) substituir símbolos conhecidos por números, e criar uma situação em que a “soma” dos reagentes acarreta um “produto absurdo” (Niaz, 2001). Estas estratégias destinam-se a averiguar se os alunos aplicam ao EQ noções de proporção puramente matemáticas. Outra intenção

desses dois itens é verificar se para os alunos está claro que as reações geram espécies e que um reagente pode fornecer dois produtos na reação inversa.

Resultados e discussão:

Os resultados estão mostrados nos Gráficos 4.2 a seguir:

Gráficos 3.2: Perfis de ocorrência de acertos no Teste 1 por diferentes grupos de alunos.

1. Alunos do ensino médio (n=41)

2. Alunos 1o Ano (n=64)

3. Alunos do 2o Ano (n=81)

4. Alunos USP (n=68)

Gráficos 4.2: Percentual de acertos em cada item do Teste 2 para os grupos de alunos discriminados nos títulos dos gráficos. A coluna vermelha enfatiza os resultados dos itens que contêm mais de 30% de erro - número definido arbitrariamente.

O alto índice de acertos do Teste 2 parece contraditório com os resultados obtidos no Teste 1. O aparente paradoxo poderia ser explicado pelo fato de que as tarefas do Teste 2 reproduzem a forma utilizada na situação de instrução, ao contrário do Teste 1, que explora a representação simbólica e de expressão livre.

Somente entre os alunos do ensino médio é encontrada uma inconsistência no item e. Vale a pena notar que ele é idêntico ao item c. No entanto, supomos que a substituição de símbolos pelos números leva os alunos a um erro que deve indicar que os alunos usaram, neste item, uma abordagem algébrica e não conceitual.

Teste 3:

Leia a afirmação abaixo e responda os itens a seguir como verdadeiro (V)

ou falso (F). Num equilíbrio químico $A \rightleftharpoons B$, quando se acresce A:

- a. Aumenta a taxa de reação no sentido A a B.*
- b. A reação processos em ambos os sentidos.*
- c. Antes, durante e após o aumento de A, não há reação química que ocorre em ambos os sentidos.*
- d. Depois de aumentar A, um novo valor para K_{eq} será estabelecida.*
- e. Após o estabelecimento do equilíbrio, as $[A]$ e $[B]$ devem ser muito diferentes, mas irão manter-se constantes no tempo.*

Objetivo do teste:

O intuito da questão foi verificar os conceitos derivados do princípio de Le Chatelier e como eles se sobrepõem indevidamente ao conceito de equilíbrio químico.

Resultados:

O perfil de erros foi agrupado para cada turma e está mostrado nos Gráficos 4.3 a seguir.

Gráficos 4.3: Perfis de ocorrência de acertos no Teste 3 por diferentes grupos de alunos.

1. Alunos do ensino médio (n=41)

2. Alunos do 1o Ano (n=64)

3. Alunos do 2o Ano (n=81)

4. Alunos USP (n=68)

Gráficos 4.3: Percentual de acertos em cada item do Teste 3 para os grupos de alunos discriminados nos títulos dos gráficos. A coluna vermelha enfatiza os resultados dos itens que contenham menos de 50% de acerto dentre os alunos participantes - número definido arbitrariamente. As colunas em laranja enfatizam os resultados dos itens que contenham entre 60 e 50% de acerto dentre os alunos participantes;

Discussão:

Apesar de o número de acertos ser menor do que no Teste 2, confirma-se o fato de em torno de 80% dos alunos serem capazes de responder corretamente a questão quando questionados da mesma forma como eles aprenderam. Vale ressaltar os itens *a* e *b*, que versam sobre o princípio de Le Chatelier e são formulados de modo semelhante à forma como o assunto é tratado no ensino médio. Embora o desempenho dos alunos nestes itens não seja totalmente satisfatório, ele repete o resultado explicado no Teste anterior.

São particularmente notáveis os resultados obtidos nos itens *c*, *d* e *e*, com destaque para o item *d*. Os erros no item *c* deixam claro que os alunos admitem o equilíbrio químico como uma situação estática. Situação semelhante ocorre com o item *e*, no qual, além disso, é possível sugerir que a ideia de concentrações iguais no equilíbrio é bastante prevalente. Os resultados mais dramáticos são verificados no item *d*: há ignorância com relação ao significado do termo *constante*.

Estes resultados mostraram também que o padrão de erros nas diferentes turmas foi mantido, o que levou a uma assunção adotada para o seguimento do trabalho de que as turmas apresentavam um comportamento suficientemente similar para que todos os testes e procedimentos propostos fossem aplicados somente nas turmas da USP. Os motivos para tal escolha serão explicados em detalhes ao final da apresentação dos dados iniciais da pesquisa.

Teste 4:

Uma solução 0,1M de uma amina primária ($R-NH_3^+$), de $pK_a=11$, em $pH=11$, está em contato com uma membrana que internaliza as

moléculas com carga positiva. Depois de muito tempo, qual a concentração de moléculas encontrada no interior da membrana?

Objetivo do teste:

O intuito desta questão era verificar a habilidade dos alunos de aplicar o conceito de equilíbrio em uma situação bioquímica típica, ou seja, em contexto diferente daquele em que se deu o aprendizado do conceito.

Resultados e discussão:

Gráfico 4.4: Perfis de ocorrência de acertos no Teste 4 por diferentes grupos de alunos.

Acertos dos alunos USP n=68

Legenda

- Declaração de que 50% das moléculas seria internalizada.
- Idem à anterior, justificado textualmente pelo fato de $\text{pH} = \text{pKa}$.
- Acertaram inequivocamente.

Gráfico 4.4: Desempenho dos alunos numa questão relacionada a conceitos bioquímicos.

É necessário ressaltar que no momento da aplicação do Teste 4 os alunos já tinham concluído a parte da disciplina em que haviam sido estudados os conteúdos de tampão, equação de *Henderson-Hasselbach* e estrutura de aminoácidos.

O baixo índice de respostas inequivocamente corretas revela que os estudantes são capazes de trabalhar com o conceito de pK_a , mas não são capazes de aplicar o conceito de equilíbrio dinâmico em uma situação diferente daquela em que eles aprenderam o conceito. Neste caso, ignoram o aspecto dinâmico que preside o equilíbrio químico: estabelecem, a partir do valor do pK_a , a proporção correta de espécies com carga e sem carga, mas admitem a situação estática que teria como resultado o transporte de apenas 50% das moléculas através da membrana.

Teste 5:

onde B é uma enzima, julgue como verdadeiras ou falsas as afirmativas a seguir:

- Só se encontrará B no equilíbrio químico se $[A] > [B]$;
- Em tempos grandes, todo A será convertido a D ;
- O equilíbrio químico só se estabelece se k_3 for muito menor que k_1 e k_2 ;
- No tempo $t=0$, havendo grande acréscimo de A , haverá grande formação de C , e assim, após algum tempo, volta a haver formação de A .

Objetivo do teste:

Embora as equações de equilíbrio componentes do teste refiram-se a modelos conhecidos de cinética enzimática, deve-se notar que todos os itens podem ser respondidos exclusivamente com o conceito de EQ. A intenção de utilizar as equações modelo foi propositada, omitindo-se termos típicos do tratamento utilizado na cinética enzimática: [E] e [ES].

Resultados e discussão:

Gráficos 4.5: Perfis de ocorrência de acertos no Teste 5 por diferentes grupos de alunos.

3. Alunos do 2o Ano (n=81)

4. Alunos USP (n=70)

Gráficos 4.5: Percentual de acertos em cada item do Teste 5 para os grupos de alunos discriminados nos títulos dos gráficos. As colunas em laranja e vermelho enfatizam a similaridade dos resultados observados nos diferentes grupos de alunos.

A questão é claramente uma tarefa de aplicação do equilíbrio químico em Bioquímica. Os resultados indicam que uma parte significativa dos alunos não foi

capaz de perceber que a cinética da reação catalisada enzimaticamente é um caso particular da cinética química.

É necessário ressaltar que no momento da aplicação do Teste 5 os alunos já tinham concluído a parte da disciplina em que haviam sido estudados os conteúdos de cinética enzimática.

4.1.1 Conclusões do primeiro ciclo de prospecção de conceitos alternativos

Os dados nos levam a inferir que, quando houve bom desempenho, os resultados obtidos nas várias questões podem estar superestimados, e de fato não refletem os conhecimentos dos alunos, já que eles erram em questões onde lhes é sonegada a linguagem habitual do conceito. Por isso deve-se ressaltar que o contexto e forma de transposição do conteúdo a que foram submetidos na escolaridade anterior é um fator interferente no presente diagnóstico. Ou seja, se a questão é colocada de uma forma que aos alunos parece familiar, há maior índice de acertos. Isso é esperado na medida em que é comum que muito da escolaridade anterior tenha valorizado a memorização de fórmulas e frases mnêmicas.

A comparação entre os resultados obtidos com estudantes de diferentes níveis de escolaridade revela a persistência de erros conceituais desde o ensino médio e reafirma conclusões da literatura: conceitos alternativos, uma vez introjetados, são muito estáveis (Atasoy et al. 2009). No caso verificado, disciplinas de nível superior, conduzidas sem o propósito específico de alterar (ou atenuar) os conceitos pré-existentes, não foram efetivas em removê-los. A importância de conhecer os conceitos alternativos é apontar para os professores sua existência e,

portanto, fornecer-lhes subsídios para planejar procedimentos que possam contribuir para sua correção (Taras, 2008).

Dados da neurociência (Medin et al., 2000; Mahon, 2009) sugerem que os conhecimentos adquiridos estão organizados em *campos conceituais*. Admitindo a validade desta hipótese, é observável, nos dados apresentados, que o desempenho dos alunos é melhor quando se usam nos testes a linguagem e o contexto típicos da situação instrucional na qual os conceitos foram aprendidos. Esta situação é ampliada para o formalismo da linguagem química: quando os símbolos convencionais são substituídos por outros, que possam ter outros significados (por exemplo, os números), o desempenho fica comprometido. Por último, e mais importante, os erros conceituais nas questões que envolviam tratamento matemático sugerem que o fenômeno do equilíbrio químico está restrito à manipulação algébrica dos dados, dissociada dos níveis macro e microscópicos do fenômeno. Intervenções que integrem os níveis representacionais do fenômeno químico podem ser estratégias promissoras para o tratamento dos conceitos alternativos aqui identificados.

4.2 ETAPA II: REFINAMENTO DOS TESTES, DEFINIÇÃO DO PÚBLICO ALVO E INTERVENÇÕES RECUPERATÓRIAS (SEGUNDA RODADA DE DIAGNÓSTICOS)

Após o primeiro ciclo de testes diagnósticos, e com as questões levantadas anteriormente, foi possível propor uma nova rodada de testes, tanto mais refinada como mais circunscrita a algumas condições entendidas naquele momento como mais relevantes para a incompreensão do EQ. A segunda parte dos testes refere-se,

portanto, aos questionários que visavam melhorar a discriminação (1) do tipo de erro que se cometia nas questões, (2) dos conceitos que estavam aparentemente menos claros ou que careciam de maior delimitação e (3) direcionar a pesquisa no sentido do desenvolvimento das estratégias de intervenção, e, por fim, (4) esclarecer pontos que os resultados anteriores não foram capazes de apontar com clareza o tipo de erro que o aluno cometia.

Um fato a ser destacado é que os resultados apresentados na seção anterior mostraram que a diferença de desempenho entre os grupos de alunos que participaram dos diagnósticos foi pequena, sobretudo se considerarmos o nível da formação desses alunos. Optou-se então por realizar os procedimentos seguintes apenas com alunos da USP.

Esses alunos foram selecionados por um dos vestibulares mais concorridos do Brasil (FUVEST), por meio de uma prova que, se passível de críticas, uma delas certamente não é a falta de esmero na produção das questões. Admitimos, portanto, de forma explícita, que consideramos esses alunos como potencialmente os de mais alto nível em termos de preparação para um curso superior. Além disso, a disciplina de Bioquímica para esses alunos é a de carga horária mais alta oferecida no Departamento de Bioquímica da USP (12 horas por semana, semestral). Por fim, e certamente mais relevante, é uma disciplina que utiliza uma estratégia ativa baseada no modelo de Aprendizado Baseado em Problemas. Isso facilita a coleta de manifestações dos alunos, bem como oferece a oportunidade de se propor intervenções recuperatórias e observar o comportamento dos alunos no processo, como já explicado anteriormente na “Estrutura da Disciplina”.

Em vermelho, diagnósticos da Etapa II. Em verde, Intervenção.

Esquema 4.2: Esquema representativo do calendário da disciplina de Bioquímica na USP, com a distribuição dos principais tópicos e os períodos de quatro horas de aula utilizados em cada assunto abordado. As setas vermelhas indicam o momento em que aconteceram os testes diagnósticos aqui relatados. A seta verde mostra o momento onde ocorre a intervenção recuperatória versando sobre EQ de acordo com o diagnóstico anterior.

A primeira parte dos testes apresentados é referente ao 2º semestre de 2011, ao final da disciplina da turma de Farmácia-Bioquímica diagnosticada no momento inicial do curso. Apesar de referir-se ao primeiro momento da pesquisa, onde os levantamentos feitos visavam a caracterização do grupo, o mapeamento das principais dificuldades apresentadas e o direcionamento para os testes vindouros, foi possível verificar que o processo instrucional sem qualquer tipo de intervenção específica manteve o que foi observado no diagnóstico inicial.

Os alunos de Farmácia-Bioquímica que cursavam a disciplina no período diurno do 2º semestre de 2011 (FB 11D) constituíam uma turma de 66 alunos

($n=66$), divididos em três turmas de $n_1=21$, $n_2=22$ e $n_3=23$ alunos. Os alunos participaram dos testes de forma voluntária.

Os alunos da Farmácia-Bioquímica diurno que cursaram a disciplina (FB 12D) constituem uma turma de 84 alunos ($n=84$), divididos em três turmas de $n_1=25$, $n_2=27$ e $n_3=32$ alunos. Entretanto, pela similaridade dos desempenhos mostrada anteriormente, decidiu-se que a realização dos testes em apenas um das turmas seria suficiente para as caracterizações. Além disso, apenas nesta turma haveria intervenções diretas programadas; já o diagnóstico pós-intervenção seria aplicado nas três turmas, como uma forma de verificar se houve alterações imediatas e significativas a curtíssimo prazo e, no máximo, especular sobre possíveis diferenças que surgissem.

Como características comuns às duas turmas (11D e 12D), os grupos de alunos matriculados na disciplina de Bioquímica já haviam completado as disciplinas de Química Geral, Orgânica I e Química Analítica Qualitativa e concomitantemente cursavam Físico-química, Química Orgânica II e Química Analítica Quantitativa.

A seguir serão apresentados os resultados em acertos dos testes. Esses resultados também estão divididos por item em cada questão. Para cada teste serão explicados tanto o intuito da aplicação como o resultado esperado, e as consequências dos dados obtidos.

4.2.1 Comparação entre turmas diferentes

Turma FB11D

A turma FB11D foi submetida a uma nova bateria de testes ao final da disciplina de Bioquímica, sem, no entanto, ter recebido qualquer intervenção

recuperatória, como já mencionado. A intenção nesse caso era dupla: propor testes que seriam derivados do refinamento dos aplicados e analisados anteriormente – como já discutido – e verificar se, ao longo do processo instrucional, a finalização de outras disciplinas poderia cooperar para a atenuação dos conceitos alternativos, interferindo de forma positiva nos resultados obtidos nos testes. Esta seria uma situação possível já que, concomitantemente com Bioquímica, os alunos estavam cursando outras disciplinas nas quais o EQ é tratado à exaustão. O observado foi que não houve melhora, ou seja, mesmo tendo tido outras atividades que poderiam interferir positivamente nos conceitos dos alunos, eles continuavam cometendo erros da mesma natureza nos testes que se sucederam.

O teste 1 da Etapa I foi repetido neste momento, mas com uma ligeira modificação na forma de coleta dos dados.

Teste 1:

Dada a reação química $X \rightleftharpoons Y$ com $K_{eq} = 2$, desenhe na caixa abaixo uma situação que ilustre as proporções de espécies no equilíbrio químico.

Essa questão ainda foi novamente aplicada para uma turma da USP com uma ligeira modificação na sua formulação, com os mesmos dados oferecidos de forma diferente. A turma foi dividida em três grupos que recebiam as questões num pré-teste, no início das aulas sobre tampão e pH do curso de Bioquímica, da seguinte forma: i. foram oferecidas a reação química e a constante de equilíbrio (K_{eq}), e foi pedido o desenho/esquema da situação de EQ; ii. foram oferecidos a reação

química e o esquema no EQ e foi pedido o K_{eq} ; iii. foram oferecidos a reação, o K_{eq} e um esquema em que as espécies ainda não atingiram o equilíbrio, e estão em proporção de 9 para 9, e foi perguntado aos alunos se a reação estava em equilíbrio. Em caso negativo, que mostrassem como seria a situação de equilíbrio.

Ao final dessas aulas, os alunos foram submetidos ao pós-teste, com o cuidado que eles não respondessem ao mesmo teste (pré), mas a um dos dois outros.

No pré-teste, para as situações i. e ii., o índice de acerto dos alunos foi bastante elevado (superior a 95%); entretanto para a situação iii. os acertos não ultrapassaram 65%. Valores muito similares aparecem para a situação de pós-teste: superior a 90% nas situações i. e ii., e não mais que 65% para o teste iii. Sendo que os erros preponderantes na situação iii. são a alegação de que o sistema se encontra em equilíbrio pelo fato das concentrações serem iguais (40%) e o surgimento ou desaparecimento de matéria do sistema.

Algumas informações importantes surgiram desse formato de teste.

a. Alunos que acertaram as questões i. e ii. e erraram a questão iii, que é fundamentalmente a mesma questão - a única alteração é a forma de representação e integração dos níveis simbólicos. Assim, quando os alunos dispõem dos valores que permitem o tratamento algébrico do problema, eles têm sucesso na consecução do cálculo da constante de equilíbrio. Entretanto, quando o sistema não se encontra no equilíbrio, eles se limitam a fazer representações proporcionais das espécies, e não as quantidades das espécies indicadas na questão.

b. Como consequência, os alunos ignoram que se trata de um sistema fechado e certamente não se dão conta de que ao adicionar mais símbolos do que o

contido no sistema originalmente representado estão promovendo uma situação inusitada de criação de matéria. Ou seja, fazem com que “apareça” matéria no sistema – simplesmente por adicionar mais partículas de um determinado “elemento” no sistema; ou fazem com que “desapareça” matéria do sistema – simplesmente por retirar partículas que eles julgam estar a mais do que o preconizado algebricamente para que o sistema esteja em equilíbrio.

A interpretação desse comportamento é de que os alunos têm sua atenção voltada para o tratamento algébrico do fenômeno e não questionam as consequências das suas alegações no que concerne à conservação de matéria num sistema fechado. Isso nos leva a questionar quanto esses alunos consideram importante tal definição, ou mesmo se esse importante pressuposto para o tratamento de fenômenos físico-químicos tem alguma relevância dentro do seu arcabouço cognitivo.

Teste 2:

Dada a reação, $4 + 5 \rightleftharpoons 2$, qual o valor da sua constante de equilíbrio?

Objetivo do teste: como testes anteriores sugeriram que os alunos tendiam a dar um tratamento estritamente algébrico aos fenômenos de equilíbrio químico, o intuito da questão era avaliar como o aluno se portaria diante de uma situação em que o teste realizado oferecia números em lugar de elementos químicos.

Resultados obtidos:

Acertos: 15/66 (22%)

Erros: 51/66 (74%)

Discussão: as respostas dadas pelos alunos que erraram este teste revelaram uma situação que reforçou observações anteriores sobre o tratamento eminentemente algébrico dispensado às questões de EQ, pois era inequívoco que se dedicavam à resolução algébrica do problema. Ou seja, chegavam a montar uma equação para definir o K_{eq} que, por definição, é:

$$K_{eq} = [2]/[4][5].$$

Entretanto, após essa etapa, aqueles que enveredaram por esse tipo de resposta seguiam adiante na resolução da equação algébrica, de forma que o resultado era expresso como:

$$K_{eq} = [P]/[R] = [2]/[4][5] = 2/20 = 0,1$$

É evidente que ignoravam que se tratava de um tratamento estritamente simbólico para uma equação química. Assim, a questão mais óbvia que emerge de um resultado dessa natureza é o obstáculo constituído de integração dos níveis representacionais dos fenômenos químicos. Apesar dos alunos dominarem de forma eficaz a simbologia das reações químicas, os dados sugerem que este entendimento pode estar comprometido por carências na formação conceitual em química. Isso significa que, mesmo havendo domínio da simbologia, ela não está claramente relacionada aos conceitos que representa. Nesse caso, o aluno transcende a simbologia química, ao ignorar o sentido químico das expressões [2], [4] e [5] e igualá-las aos numerais 2, 4 e 5, avançando rumo a uma simbologia cujo significado

é estritamente matemático e viola francamente os conceitos químicos no cálculo do K_{eq} de forma tão acintosa.

Uma hipótese explicativa para o caso, corroborando dados anteriores, é que a forma instrucional de tratamento do EQ pode estar sendo sobrecarregada por cálculos e não por conceitos, o que faz com que uma parte expressiva dos problemas seja considerada como mera resolução de equações matemáticas. Isso potencialmente enviesava o tratamento que os alunos dão ao fenômeno.

Críticas: com o tratamento dos resultados, aventou-se que os alunos haviam tratado os números como índices estequiométricos, ou ainda como concentrações de espécies, pois o enunciado não deixava claro que o sistema representava uma equação química, e, portanto, os números representavam espécies. Esse item foi corrigido na bateria de testes aplicada na turma seguinte (FB12D).

Teste 3:

Uma solução contém 0,1 mols de uma amina primária ($R-NH_3^+$), cujo pK_a é 11. Esta solução está em contato com uma vesícula cuja membrana internaliza irreversivelmente moléculas sem carga. Depois de muito tempo, quantos mols da amina foram internalizados?

Objetivo do teste: O intuito desta questão é verificar a habilidade dos alunos de aplicar o conceito de equilíbrio em uma situação bioquímica típica, ou seja, em contexto diferente daquele em que se deu o aprendizado do conceito.

Variante 1 – Informando que o pH do meio é igual a 11. Forma mais direta e objetiva, sem inserir ruídos ou elementos desorientadores e dificultadores que poderiam superestimar os erros cometidos.

- Acertos: 6/21
- Afirmam textual e inequivocamente que 50% são internalizados: 11/21
- Outros erros: 4/21

Variante 2 - Sem informar o pH do meio. Verificar se os alunos se dão conta de que essa informação é fundamental para a resolução de forma mais simples, sem ter que fazer considerações sobre o comportamento do sistema caso o meio tivesse pH superior, inferior ou igual a 11 – as situações que de fato interessam para a resolução da questão.

Resultados obtidos:

As afirmações e respostas foram categorizadas de acordo com sua ocorrência. Assim, surgiram ao todo nove categorias de respostas diferentes, que podem ser agrupas em afirmações cujo teor é compatível as ideias abaixo:

- a. A molécula não atravessa a membrana: 8/45 (17%)*
- b. As moléculas não atravessam a membrana em sua totalidade: 2/45 (4%)*
- c. Há EQ ocorrendo em ambos os lados da membrana: 1/45 (2%)*
- d. Erros em EQ: 2/45 (4%)*
- e. Indica textualmente que 50% das moléculas atravessam a membrana: 24/45 (53%)*

f. Outros erros (Geralmente Qualitativos): 14/45 (15%)

g. Acertos totais: 15/45 (34%)

Discussão: É importante ressaltar que há confusões entre o significado de pH e pKa e como estes dois parâmetros se relacionam. Dentre os que cometeram erros que não estão na categoria *f*, todos cometem algum erro na relação entre pH e pKa. Outra afirmação comum nos que cometem erros na categoria *a* é a de que não é possível fazer qualquer afirmação sem a informação do pH do sistema. Não deixa de ser revelador que, dos alunos que acertaram a questão sem ressalvas, 2/3 deles afirmam que só há três possibilidades para o sistema: pH igual, superior ou inferior a 11, e assim, entendemos que há forte sugestão de que estes alunos possuem os conceitos corretos e operacionais.

Teste 4:

em que $k_1 > k_2 > k_3 > k_4$, julgue como verdadeiro (V) ou falso (F) os itens seguintes:

- a. O complexo ES gera E + S;*
- b. O produto pode converter-se em substrato;*
- c. Quando o sistema estiver em equilíbrio não haverá aumento de [P];*
- d. Depois de muito tempo todo substrato será convertido em produto;*

e. Quando o sistema estiver em equilíbrio haverá constante formação das espécies, mas suas concentrações não se alteram.

Objetivo do teste: verificar se os alunos eram capazes de aplicar os conhecimentos de EQ numa situação tipicamente bioquímica.

Resultados obtidos:

Tabela 4.6: perfil de erros obtidos pelas categorias de respostas dadas pelos alunos no Teste 4.

a. O complexo ES gera E + S	14/66 (21%)
b. O produto pode converter-se em substrato	24/66 (36%)
c. Quando o sistema estiver em equilíbrio não haverá aumento de [P]	15/66 (22%)
d. Depois de muito tempo todo substrato será convertido em produto	21/66 (32%)
e. Quando o sistema estiver em equilíbrio haverá constante formação das espécies, mas suas concentrações não se alteram	12/66 (18%)
f. Percentual de alunos que acertaram todas as questões	22/66 (32%)
g. Percentual de alunos que erraram todas as questões	0/66 (0%)
h. Ocorrência de erros em 2-4 itens	29/66 (44%)

Discussão: É notável que, mesmo a questão tratando apenas de aspectos eminentemente de EQ, sem enveredar por aspectos mais particulares da cinética enzimática, e, portanto, explicitamente no nível de conhecimento dos conceitos básicos de EQ, os alunos tenham cometido erros em proporção tão elevada.

Portanto não é possível ignorar que outras disciplinas que também dependam desses conceitos estejam sendo construídas sobre problemas conceituais tão flagrantes.

Turma FB12D

A turma foi submetida a três etapas de diagnóstico e uma intervenção. A primeira etapa no tempo zero da disciplina, a segunda após a conclusão da unidade de tampão e aminoácidos e a terceira ao fim do módulo de cinética enzimática. Portanto, há um diagnóstico em $t=0$ (um subgrupo apenas), uma intervenção (um subgrupo apenas), novo diagnóstico pós-intervenção (toda a turma) e novo diagnóstico após a unidade de cinética enzimática.

Estes testes foram formulados após análise quantitativa e qualitativa dos testes anteriores e visavam obter dados para o refinamento das detecções bem como obter dados para as intervenções. O diagnóstico do tempo zero foi baseado nos novos testes elaborados e que foram submetidos a pequenas situações-piloto, com alunos aleatórios, visando verificar a qualidade da redação, linguagem e excluir falhas que pudessem induzir o erro dos alunos. Como mostrado nos testes anteriores, alguns enunciados podem induzir ao erro e outros podem não caracterizar de forma clara as dificuldades conceituais. Desta forma, os testes do tempo zero visavam (1) a verificação de tratamento simbólico-matemático e a relação deste com as questões conceituais; (2) verificar as possibilidades de acerto dos alunos em questões cujo enunciado trazia bordões derivados da formação anterior, mas que careciam de suporte conceitual. Esta segunda parte foi realizada por meio de um teste do tipo “verdadeiro ou falso” em que havia, pelo menos, duas

questões que versavam sobre conceitos e fenômenos, mas com enunciados diferentes. O intuito deste teste era também verificar se o aluno era coerente em suas respostas, podendo-se avaliar isso pelo perfil de erros e acertos na questão.

Os dados serão aqui apresentados na ordem dos acontecimentos, como forma de acompanhar a evolução dos trabalhos.

Testes no momento inicial:

Os testes 1 e 2 são baseados nos mesmos gráficos. Os resultados dos testes estão apresentados ao lado dos mesmos, onde o primeiro número é a ocorrência de erros, o segundo o total de alunos que responderam o Teste e, por fim, entre parênteses, esses valores expressos em porcentagem.

Os gráficos abaixo referem-se a uma reação química genérica

Gráfico I

Gráfico II

Gráfico III

Teste 1: julgue os itens a seguir como verdadeiros (V) ou falsos (F).

É possível afirmar que o equilíbrio químico está representado:

a) Somente em I; 3/25 (12%)

b) Somente em II; 1/25 (4%)

- c) Somente em III; 6/25 (24%)*
  - d) Somente em I e II; 1/25 (4%)*
  - e) Somente em I e III; 2/25 (8%)*
  - f) Somente em II e III; 3/25 (12%)*
  - g) Em todos os sistemas; 10/25 (40%)*
  - h) Em nenhum dos sistemas. 0/25 (0%)*
- Soma das respostas erradas: 16/25 (64%)*

Objetivo do teste: como as observações anteriores deixavam a suspeita de que muitos alunos confundiam a palavra “equilíbrio” com uma situação em que há a mesma massa, ou mesmo número de mols, em ambos os lados da equação química, foi utilizado um gráfico comum na formação anterior do aluno. Assim, para testar o ponto em particular, foram mostradas situações em que há o cruzamento da linha dos gráficos, de forma que num dado momento as concentrações das espécies no meio são iguais.

O inconveniente de submeter os alunos a formas e situações novas é o risco de enviesar e superestimar as taxas de erros nas questões. Assim, dentre os critérios para a escolha de situações-problema, há a apresentação das mesmas com questões cuja forma e estrutura sejam familiares aos alunos – fato baseado na observação de questões de vestibulares e livros-texto de ensino médio, bem como de problemas presentes em livros texto de ensino superior.

Discussão: Os dados mostram que uma parte expressiva dos alunos, mesmo diante de outros gráficos e da indicação clara de que aqueles seriam gráficos de

concentração x tempo, afirmam que somente o gráfico III apresenta uma situação de equilíbrio. Não se pode também excluir a possibilidade de que todos os alunos que não responderam a única alternativa correta (que seria aquela que todos os gráficos representam o EQ), também podem de alguma forma apresentar problemas conceituais com relação ao EQ.

Teste 2:

Julgue os itens a seguir como verdadeiros (V) ou falsos (F).

- a)** *No gráfico II, se for adicionado B até que $[B] = [A]$, então o sistema entrará em EQ.*
- b)** *O estado de EQ pode ser medido experimentalmente pelas concentrações das espécies no sistema.*
- c)** *Num sistema do tipo $A \rightleftharpoons B$, com $K_{eq} \neq 1$, a adição do mesmo número de mols de A e B irá manter o sistema em equilíbrio.*
- d)** *Depois de muito tempo, o estado de EQ não pode mais ser medido, já que a reação é reversível.*
- e)** *No mesmo sistema do item anterior, a adição de A desloca o EQ para a direita, portanto muda a K_{eq} .*
- f)** *Depois de muito tempo, se não houver interferência externa, essa situação apresentada será mantida indefinidamente.*
- g)** *No gráfico III o único ponto em que há EQ é onde há a intersecção das curvas, pois $[A] = [B]$.*
- h)** *O EQ é determinado pelas concentrações de A e B no sistema.*

- i) Se for adicionado A ou B ao sistema, um novo EQ será atingido e assim haverá uma nova K_{eq} .*
- j) O sistema representado pelo gráfico II nunca entrará em EQ, pois [A] nunca será igual a [B].*

Objetivo do teste: Verificar conceitos de EQ, sobretudo se os alunos possuem uma noção clara do que é uma constante, e detectar confusões entre o conceito de EQ e a Lei de Le Chatelier.

Estrutura dos testes para verificação de coerência: neste teste em particular, além dos erros e acertos, foi proposto um modelo em que fosse possível verificar também a coerência entre os mesmos. Isso foi possível ao elaborar questões que abordassem o mesmo conceito, ou ainda, que versassem sobre o mesmo ponto. Não é trivial elaborar questões diferentes sobre o mesmo conteúdo e com um nível cognitivo similar. Assim, as questões que tratavam do mesmo ponto, ou do mesmo problema, foram agrupadas da seguinte forma: *b-h; e-i; a-g-j*. Com isso, foi possível montar uma estrutura de coerência de erros e coerência de acertos. O primeiro par de erro-e-acerto (b-h) mostra que possivelmente o aluno não tem o conceito, ou ele não é operante, e como os erros são coerentes, essa parte do conhecimento não está clara. O segundo (e-i) mostra que há algum conhecimento, há alguma articulação, mas definitivamente os conceitos corretos não são firmes, o que sugere que o acerto pode ter sido eventual, já que se o aluno efetivamente dominasse o conceito, não deveria errar uma questão fundamentalmente igual à outra.

Dados obtidos:

Tabela 4.7 Total de erros cometidos no Teste 2.

Erros totais:	
a. 2/25 (8%)	f. 3/25 (12%)
b. 7/25 (28%)	g. 2/25 (8%)
c. 9/25 (36%)	h. 11/25 (44%)
d. 0/25 (0%)	i. 13/25 (52%)
e. 12/25 (48%)	j. 5/25 (20%)

Tabela 4.8: Coerência de erros entre itens do par erro-acerto

Testes	Ocorrência de erros em um pelo menos um dos itens	Ocorrência de erros em todos os testes de um dos pares
b-h	6/25 (24%)	7/25 (28%)
e-i	7/25 (28%)	10/25 (40%)
a-j-g	6/25 (24%)	1/25 (4%)

Tabela 4.9 Coerência de acertos entre os itens

Par de itens	Acertos
b-h	12/25 (48%)
e-i	8/25 (42%)
a-j-g	18/25 (72%)

Tabela 4.10 Ocorrência de erros nos pares erro-acerto:

Ocorrência nas três combinações	3/25 (12%)
Ocorrência em duas combinações	6/25 (24%)
Erro em todos os itens de pelo menos uma das combinações	19/25 (76%)

Apenas dois alunos acertaram todas as combinações, e foram exatamente os mesmos que acertaram todos os testes.

4.2.2 Intervenção I

A intervenção I consistiu na resolução em grupo (constituído por cerca de 25 alunos) do teste realizado no tempo zero.

Desempenho observado: A situação da intervenção ocorre num dos grupos de discussão, modalidade de ensino adotada em uma disciplina ministrada para a turma. Como a aula não tem um formato convencional e, por sua vez, atividades em grupo são utilizadas, seria necessário promover a intervenção num dos momentos da disciplina em que o assunto ainda viesse a ser tratado. No momento oportuno, foram tomadas as mesmas questões do teste. Como o teste acontece no formato de verdadeiro ou falso, não são negligenciáveis as chances de uma parte dos acertos ser derivada de tentativas aleatórias dos alunos, e, desta forma, os dados dos acertos estariam superestimados. Assim, a estratégia utilizada é o uso do próprio teste, mas agora com as respostas sendo justificadas pelos alunos no grupo de discussão. Isso requer a participação dos alunos, sob supervisão e com

intervenções do professor, de forma que as respostas dos alunos devam ser avaliadas pela turma com a anuência e concordância final do docente.

Dessa forma, é possível obter qualitativamente dados derivados das falas dos alunos que não são passíveis de registro no teste proposto na forma como este encontra-se estruturado. Este dado qualitativo é de suma importância para verificar se os alunos, no seu discurso, emitem frases e bordões que estão de acordo com os conceitos corretos de EQ, mas que, durante a resolução dos problemas, começam a se mostrar menos coerentes e consistentes com o tempo. Ou seja, o aluno é confrontado com uma situação na qual os seus conceitos não são mais suficientes para explicar ou trabalhar o problema proposto.

Entretanto, isso é possível em situações em que haja uma incompatibilidade entre o que o aluno pode fazer e o que a situação problema efetivamente dele demanda, ou ainda, situações nas quais os conceitos corretos cobrados sejam de tal forma fulcrais que não seja possível a manutenção de uma outra forma de entendimento ou a preservação do conceito falho do aluno. Esta última afirmação é uma caricatura, pois não há extinção de memória pelo simples fato de se demonstrar um erro ao aluno, tanto quanto não há forma de se incutir novo conhecimento ou conceito pelo simples ato da demonstração do erro.

No caso ora apresentado, os conhecimentos necessários em questão são tão profundos da formação anterior do aluno que levaria a uma situação absurda de sempre se ter que retomar ou conferir conhecimentos fundamentais para avançar em qualquer direção no processo instrucional, o que não seria operacional sob qualquer ponto de vista.

4.2.3 Diagnóstico 2 – Pós Intervenção

Como já mostrado, as três turmas possuem perfis semelhantes e, assim, tentou-se verificar se houve diferença no desempenho dos alunos, sendo que apenas o grupo N1 sofreu a intervenção recuperatória.

Teste 1:

Dada reação química representada pela equação, $4 + 5 \rightleftharpoons 2$, qual o valor sua constante de equilíbrio?

Dados obtidos: Perfil de erros

N1: 13/25 (52%)

N2: 21/27 (78%)

N3: 24/32 (75%)

Discussão: os erros aqui detectados recaíram necessariamente na categoria de tentar resolver a equação matemática, como já exposto anteriormente.

Ressalta-se aqui a diferença entre o número de erros cometidos em cada uma das turmas. Em destaque os dados da turma que sofreu a intervenção. Há uma diferença que não pode ser ignorada entre as turmas no que concerne ao desempenho. Apesar de haver muitas variáveis intervenientes para o caso, os dados parecem indicar que a persistência nas intervenções pode trazer frutos positivos.

O índice de acertos muito próximo ao teste realizado anteriormente mostra que, mesmo com o ajuste de enunciado apresentando uma declaração inequívoca de que se trata da representação de uma reação química, não se traduziu em

melhoria de desempenho. Isso sugere que a questão original, mesmo não sendo ideal, conseguiu traduzir a dificuldade do aluno em lidar conceitualmente com a questão. Assim, de forma mais incisiva, agora com um segundo teste aprimorado, o dado mostra que o aluno que erra atravessa campos de representação simbólica ao sair da química e resolver um problema algébrico que, quimicamente, não faz qualquer sentido.

Isso sugere que o aluno não considera as consequências da resposta fornecida, simplesmente por estar treinado a resolver problemas de uma forma acrítica e que têm como objetivo estrito o resultado, e não aquilo que há de ser considerado a partir do resultado algébrico obtido.

Neste aspecto, a resolução assemelha-se a dois problemas de química geral que tratam de situações que conceitualmente não apresentam qualquer sentido, mesmo havendo a possibilidade de uma resolução puramente matemática. No primeiro problema, pergunta-se ao aluno qual o valor do pH de soluções resultantes da diluição seriada de uma solução 0,1M de HCl a 50% a cada diluição; por cálculos simples pode-se chegar a valores de pH superiores a 7, sem que haja qualquer significado químico no número, somente algébrico. No segundo problema, pergunta-se aos alunos qual o pH de uma solução de concentração $1 \cdot 10^{-8}$ M de HCl, e a resposta, não raro, é de que o pH é numericamente igual a 8. Em ambos os casos, o tratamento é estritamente algébrico para a resolução de uma equação matemática onde se perde o significado químico da descoberta. Essa observação pervade uma parte significativa dos dados ora apresentados, e vale notar que é revelador de uma dissociação entre o fundamento químico e o ente matemático que descreve o fenômeno.

Teste 2:

Uma solução contém 0,1 mols de uma amina primária ($R-NH_3^+$), cujo pK_a é 11. Esta solução foi ajustada em $pH=11$, e está em contato com uma vesícula cuja membrana internaliza irreversivelmente moléculas sem carga. Depois de muito tempo, quantos mols da amina foram internalizados?

Objetivo do teste: verificar se os alunos são capazes de aplicar os conhecimentos de EQ mais simples a uma situação experimental hipotética bastante convencional da Bioquímica. O teste é uma modificação de um teste realizado anteriormente, e neste caso, foi refinado para tentar explorar um problema previamente observado: os alunos tendem a tratar o equilíbrio de forma estritamente algébrica e ignoram tanto a questão do tempo como a questão do equilíbrio dinâmico.

Resultados obtidos:**Perfil de erros:**

N1: 14/25 (56%)

N2: 23/27 (85%)

N3: 21/32 (65%)

Discussão: É necessário ressaltar que no momento da aplicação do Teste 4 os alunos já tinham concluído a parte da disciplina em que haviam sido estudados os conteúdos de tampão, equação de Henderson-Hasselbalch e estrutura de aminoácidos.

O baixo índice de respostas inequivocamente corretas revela que os estudantes são capazes de trabalhar com o conceito de pK_a , mas não são capazes de aplicar o conceito de equilíbrio dinâmico em uma situação diferente do que aquela em que eles aprenderam o conceito. Neste caso, ignoram o aspecto dinâmico que preside o equilíbrio químico: estabelecem, a partir do valor do pK_a , a proporção correta de espécies com carga e sem carga, mas admitem a situação estática que teria como resultado o transporte de apenas 50% das moléculas através da membrana.

Em verdade, seria também interessante preparar variantes dessa mesma questão com outros valores de pH, de forma que se obtivesse proporções molares diferentes. Entretanto, como os resultados obtidos na forma mais evidente e simples da questão foram tão claros, entendeu-se que as variantes da questão não mostrariam nenhuma conclusão nova.

Teste 3:

Na caixa abaixo está representado o estado inicial da reação química

$X \rightleftharpoons Y$, com $K_{eq}=2$. Considerando-se que esse é um sistema fechado, represente ao lado como seria esse sistema depois de um tempo infinito.

Resultados obtidos:

Tabela 4.11: Ocorrência de erros.

Turma			
	N1	N2	N3
Erro cometido			
1. Acerto na conta; erro na representação	2/25 (8%)	4/27 (15%)	4/32 (13%)
2. Tratamento exclusivamente algébrico	3/25 (12%)	0/27 (0%)	5/32 (16%)
3. Acerto completo	17/25 (68%)	13/27 (48%)	14/32 (44%)
4. Erro completo	1/25 (4%)	0/27 (0%)	3/32 (9%)
5. Inserção de partículas*; proporção correta	1/25 (4%)	7/27 (26%)	4/32 (12%)
6. Não considera o EQ	0/25 (0%)	3/27 (11%)	2/32 (6%)
Total de erros	7/25 (28%)	14/27 (52%)	18/32 (56%)

*Inclusão de matéria num sistema fechado.

Objetivo do teste: verificar se os alunos são capazes de fazer um tratamento microscópico do evento além do tratamento simbólico matemático.

Discussão: os resultados foram categorizados de acordo com os tipos de erros encontrados nos testes. Vale notar que mesmo acontecendo em três turmas diferentes, e os alunos fazendo os testes individualmente, ainda assim, os erros são similares. Mais uma vez, é importante notar que os dados destacados em negrito referem-se ao desempenho da turma que sofreu intervenção: estes foram sistematicamente menores.

Teste 4:

Num equilíbrio químico $A \rightleftharpoons B$, foi feito acréscimo de A. Julgue como verdadeiras (V) ou falsas (F) as afirmações seguintes.

- a. No momento imediatamente após a adição, aumenta a velocidade no sentido $A \rightarrow B$.*
- b. A reação sempre se processa nos dois sentidos.*
- c. Na reação química, $8 + 3 \rightleftharpoons 2$, no equilíbrio químico, 2 se transforma em $3 + 8$.*
- d. Após muito tempo um novo valor de K_{eq} será estabelecido devido ao acréscimo de A.*
- e. Depois de estabelecido o equilíbrio, as [A] e [B] podem ser muito diferentes, mas vão manter-se constantes no tempo.*
- f. O equilíbrio químico é alcançado quando deixa de haver reação química.*
- g. Antes, durante e depois do acréscimo de A, há reação nos dois sentidos.*

Objetivo do teste: O intuito da questão é verificar os conceitos derivados do princípio de Le Chatelier e como eles se sobrepõem indevidamente ao conceito de equilíbrio químico. Também é possível observar se os alunos depreendem claramente o conceito de “constante”.

Resultados obtidos: perfil de erros.

Tabela 4.12: Ocorrência de erros nos Testes por turma

Questão\Turma	N1	N2	N3
a	3/25 (12%)	6/27 (22%)	2/32 (6%)
b	5/25 (20%)	2/27 (7%)	0/32
c	7/25 (28%)	9/27 (33%)	11/32 (34%)
d	1/25 (4%)	5/27 (19%)	7/32 (22%)
e	1/25 (4%)	2/27 (7%)	5/32 (16%)
f	1/25 (4%)	0/27	0/32
g	4/25 (16%)	4/27 (15%)	2/32 (6%)

Tabela 4.12: Os números representam as ocorrências absolutas em relação ao total da turma avaliada e em parênteses os valores expressos em porcentagens.

Ocorrência de alunos que acertaram todos os testes:

N1: 13/25 (52%)

N2: 11/27 (41%)

N3: 14/32 (44%)

Ocorrência de alunos que erraram dois ou mais testes:

N1: 4/25 (16%)

N2: 6/27 (22%)

N3: 5/32 (16%)

Discussão: As questões mostram que os alunos ignoram o sentido de “constante” e tratam esse conceito como algo mutável. Há clara sobreposição com o conceito de Le Chatelier, pois os alunos não compreendem o caráter dinâmico do fenômeno de equilíbrio. É evidente que num tempo anterior ao estabelecimento do equilíbrio, as concentrações das espécies podem fornecer valores que não sejam iguais ao do K_{eq} . Entretanto, o K_{eq} é um parâmetro que requer o momento final da reação, ou seja, quando não há mais reação ocorrendo em nível macroscópico. Não deixa de ser importante notar que mais uma vez há pouca integração dos níveis representacionais, já que ainda há reação química ocorrendo, mesmo o EQ já tendo sido atingido. Nesse sentido, os três níveis representacionais estão desconectados.

Testes realizados ao final da disciplina

Com o intuito de verificar a influência dos conceitos alternativos em conteúdos de Bioquímica, foram propostos agora testes ao final da disciplina, após todos os módulos de vias metabólicas e regulação do metabolismo.

Teste 5:

Para um ensaio in vitro foi montado um sistema que consistia na seguinte via metabólica:

No tubo reacional foram adicionados Fosfoenolpiruvato, todas as enzimas e coenzimas e tudo foi preparado em condições ideais. Os Kms mostrados para as enzimas referem-se ao Piruvato. Dado todo o tempo necessário (tempo infinito), quais espécies seriam encontradas no tubo, em quais proporções e porquê?

Objetivo do teste:

O princípio dessa questão é verificar se o aluno tem claro discernimento entre os princípios de afinidade e constante de equilíbrio. Espera-se que o aluno ignore os K_M s e diga que não importa a afinidade, mas sim o fato de a reação de formação de Acetil-CoA ser irreversível. A questão também visa verificar se dentro da linguagem adquirida pelo aluno há diferença entre o significado de dois símbolos (K_M e K_{eq}) que possuem símbolos parecidos (K), mas que têm significados completamente distintos.

Dados obtidos:

Tabela 4.13: Ocorrência de erros agrupados por tipo de afirmação feita nas respostas do Teste 5.

Tipos de erros observados	N1	N2	N3
Acerto com justificativa correta	16/22 (73%)	9/25 (36%)	10/22 (46%)
Acerto com ressalvas menores	2/22 (10%)	5/25 (20%)	0
Afirmação de que haverá 3 compostos	3/22 (14%)	7/25 (28%)	3/22 (14%)
Afirmação de haverá Acetil-CoA em dobro	0	4/25 (16%)	6/22 (27%)
Afirmação de que haverá sobra Lactato e Acetil-CoA	1/22 (5%)	0	2/22 (10%)
Qualquer outro erro	4/22 (18%)	10/25 (40%)	13/22 (60%)
Não responderam	0	0	0

Tabela 4.13: Os dados referem-se às três turmas que foram submetidas ao diagnóstico.

Discussão:

Os chamados “Acertos com ressalvas menores” referem-se a pequenas inconsistências na redação ou na forma de se expressar do aluno que podem levantar dúvidas sobre quão firme foi esse acerto, mas que, por outro lado, não autoriza sugerir que a questão tivesse sido respondida de forma errada.

Os erros chamados de “Qualquer outro erro” são aqueles nos quais não foi possível fazer uma classificação específica, mas que possuíam afirmações vagas ou que pudesse levar a interpretações diversas quanto à sua origem; mesmo assim, eram respostas inequivocamente erradas. Por exemplo, em dois casos foi dito que haveriam quantidades iguais de Piruvato e Lactato, ou ainda que “nenhum composto seria formado fora da célula”.

O mais importante, no caso, é verificar que, apesar das confusões com o significado de K_M , um erro que desperta mais interesse é o fato de uma parcela expressiva dos alunos em todas as turmas não atentar para o fato de que a reação que forma Acetil-CoA ser irreversível, e, portanto, depois de tempo suficiente não há possibilidade de haver ali outro composto. Assim, há um claro comprometimento do conceito de equilíbrio, afinidade e interpretação de um resultado experimental. Também não pode ser negligenciada a chance de que, em essência, o problema esteja na literacia do símbolo que descreve a reação química reversível ou irreversível.

Teste 6:

O esquema abaixo mostra um tubo de ensaio onde foram adicionados o composto A, todas as enzimas de 1 a 6, seus cofatores em condições ideais.

As constantes de equilíbrio para as reações são: $K_{eq}^1=9$; $K_{eq}^2=0,9$; $K_{eq}^3=0,5$; $K_{eq}^5=8$; $K_{eq}^6=9$

Assim, pede-se responder verdadeiro (V) ou falso (F) para os itens a seguir.

a) A substância G se forma mais rápido que D, por que os valores dos K_{eq} s são mais favoráveis

b) A reação $A \rightarrow B$ é dez vezes (10x) mais rápida que a reação $B \rightarrow C$.

- c) A reação $B \rightarrow A$ é dez vezes (10x) mais rápida que a reação $B \rightarrow C$.*
- d) A reação $A \rightarrow B$ acontece na mesma velocidade que a reação $F \rightarrow G$.*
- e) Depois de um tempo infinito, a espécie predominante será B.*
- f) Depois de um tempo infinito haverá distribuição das espécies de acordo com as K_{eq} 's.*
- g) A partir do momento em que se forma B, os dados fornecidos não permitem afirmar se C ou F se forma primeiro.*
- h) Se a enzima 4 for inibida irreversivelmente, depois de tempo infinito todas as espécies, exceto E, serão encontradas.*
- i) Depois de tempo infinito só haverá E.*

Objetivo do teste:

Essa questão visa lidar com alguns aspectos importantes do EQ:

1. Verificar se os conceitos de EQ não estão sendo confundidos com questões cinéticas, como na questão anterior;
2. Se há a clara percepção de que a reação irreversível impede a formação o equilíbrio em tempos muito grandes, e portanto, qual o significado do tempo para os equilíbrios químicos;
3. Como os conceitos alternativos em EQ impactam na compreensão de uma via metabólica, que é a essência de uma parte significativa dos conceitos fundamentais da Bioquímica.
4. Os valores de K_{eq} fornecidos foram criados propositalmente em valores múltiplos de fácil observação para que as afirmações propostas não esbarrassem em quaisquer equívocos algébricos, ou seja, quando se oferece um $K_{eq}^1=9$ com

valor obviamente dez vezes maior que o $K_{eq}^2=0,9$, espera-se que seja imediatamente depreensível pelo aluno.

Dados obtidos:

Tabela 4.14: Perfil de erros no teste 6

Item	N1	N2	N3
a	18/25 (72%)	15/22 (68%)	16/22 (72%)
b	13/25 (52%)	13/22 (60%)	11/22 (50%)
c	4/25 (16%)	1/22 (4%)	1/22 (4%)
d	12/25 (48%)	10/22 (45%)	7/22 (32%)
e	0	3/22 (14%)	0
f	8/25 (32%)	13/22 (60%)	7/22 (32%)
g	19/25 (76%)	15/22 (68%)	16/22 (73%)
h	0	2/22 (9%)	1/22 (4%)
i	5/25 (20%)	9/22 (41%)	3/22 (14%)

Tabela 4.15: Perfil da quantidade de erros por turma:

Erros\turma	N1	N2	N3
0	3	2	2
1	2	1	4
2	7	4	9
3/+	12	14	8

Tabelas 4.14 e 4.15: Total de erros cometidos por turma em cada item; a seguir, a quantidade de erros cometidos por aluno no total de erros do teste. Assim, na primeira linha da tabela 4.15 estão mostrados os alunos que não cometeram nenhum erro, na segunda os que erraram apenas um teste, na terceira, dois testes e, por fim, os que erraram três ou mais itens.

Discussão:

O item a. mostra que não há clareza no conceito de EQ, pois em torno de 70% dos alunos afirmam que a constante de equilíbrio define a velocidade com que uma reação ocorre.

O item b. sendo errado por pelo menos metade dos alunos é um dado coerente uma vez que reforça o resultado observado no item anterior. E a negativa do item seguinte (c.) com baixo índice de erro mostra que os alunos indicaram o item b. como verdadeiro e o item c. como falso. Esse bom resultado do item c. então pode estar enviesado e ser um falso positivo, já que ele não passa de uma negativa do item anterior.

O item d. tem resultados similares ao item b. e reforça o que foi afirmado anteriormente, confirmando a falha no conceito de equilíbrio ao ser confundido com velocidade.

A quantidade de acertos no item e. pode ser considerada contingente por um apelo visual da via, pois não um produto intermediário não pode ser o destino “final” de uma via. O baixo índice de erros aí cometidos é ilusório, pois os erros cometidos nos itens f. e i. em valores similares sugerem que a visão de uma parte dos alunos (em torno de 40-60%) pode ter uma aceção de finalidade e destino numa via metabólica, que não é condizente com os dados fornecidos na questão.

Os resultados do item g. reforçam os dados até aqui discutidos no sentido de revelar uma concepção dos alunos que está sendo explorada nesse teste, que é o fato de haver relação entre a constante de equilíbrio de relação desta com a velocidade da reação.

Por fim, os resultados do item h. sugerem que, de alguma forma, e em contradição com os dados do teste anterior e do item f. em particular, os alunos consideram a reação irreversível. Neste caso, o índice de erros baixo neste item pode indicar que os alunos que erram podem não estar avaliando criticamente seu julgamento, o que sugere que um baixo nível de metacrítica e avaliação da situação global está sendo avaliada no teste.

Por fim, deve-se considerar que estes testes foram realizados nos últimos momentos da disciplina, portanto distantes das intervenções recuperatórias anteriormente propostas, bem como dos assuntos que tratavam EQ de forma mais direta. Assim, apesar de ser lícito admitir que a intervenção proposta teve alcance limitado (se for considerado um tempo maior após essa intervenção), pelo fato de os testes versarem de forma mais explícita sobre conteúdos de Bioquímica, pode ter havido viés no resultado pouco favorável sobre a intervenção. Também não pode ser negligenciado que fatores contextuais interfiram no resultado, uma vez que há uma clara tendência de se considerar os assuntos de forma fortemente ligada ao contexto de disciplina onde foram ou são regularmente estudados (Saglam et al. 2011). Por outro lado, considerando os resultados *per se*, é inegável que o conceito de EQ, equilíbrio dinâmico, velocidade e afinidade enzimática, bem como a literacia dos símbolos estão envoltos por falhas conceituais.

4.2.4 Conclusões parciais para a Etapa II

Os dados da primeira coleta (*Turma FB 11D*) levantaram os pontos mais importantes a serem considerados e permitiram o direcionamento mais preciso tanto da segunda rodada de diagnósticos, como dos moldes e caminhos para as primeiras

intervenções. Esses dados, que foram obtidos da turma, sem distinção de grupos, foram importante na caracterização global do grupo. Juntamente com os dados anteriores, foi possível delimitar as turmas de Farmácia-Bioquímica da Universidade de São Paulo como um espaço amostral suficiente, exequível e com características relevantes para a presente pesquisa. Outra consequência importante foi a possibilidade de tratar agora não mais a classe como um todo, mas dividida.

Assim, ao refinar o diagnóstico e aplicar uma rodada de intervenções, fica reforçado que:

i. Os conceitos alternativos nesse caso podem ter origem na formação anterior, já que os dados mostram que os alunos incorporam bordões corretos, mas sem substância ou correlato cognitivo.

ii. Há forte tendência entre os alunos para simplesmente resolver problemas, ou seja, os alunos não estão engajados com uma atividade reflexiva, crítica ou que permita a aplicação imediata dos seus conhecimentos, quiçá uma abordagem mais profunda dos mesmos.

iii. Há forte separação dos níveis representacionais, de forma que a natureza dos fenômenos não é clara em suas possibilidades representacionais, dificultando a construção dos conhecimentos para uma parte expressiva dos alunos.

iv. Os alunos entendem EQ como algo que necessariamente deve ter o sentido de “igualdade” ou “equivalência” em acepções diferentes daquelas necessárias para a construção do conhecimento químico.

v. Os dados obtidos sobre a aplicação dos conceitos demonstram que a construção do conhecimento em Bioquímica é afetado pelas questões de cinética enzimática, estrutura de proteínas e aminoácidos. Isso significa que as estratégias

doravante adotadas deverão considerar o nível de comprometimento conceitual dos alunos ao invés de tratar o assunto como algo solidamente incorporado.

vi. As intervenções produziram resultados discretos, mas consistentes. Isso está em conformidade com o esperado, pois tanto a quantidade de intervenções foi muito pequena, como elas aconteceram num curto espaço de tempo. E, mais uma vez, tais observações estão em conformidade com a literatura, que demonstra claramente que os conceitos alternativos são muito persistentes. Assim, não seria de se esperar que uma única disciplina e algumas intervenções pontuais fossem capazes de remover esses conceitos numa única oportunidade. Mesmo assim, fica uma perspectiva positiva de que a insistência nas intervenções pode trazer resultados positivos se for realizada de forma sistemática.

4.3 ETAPA III: CONCEPÇÃO, CONSTRUÇÃO, APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DO SOFTWARE

Esta seção será dividida em três partes:

- I. Prospecção de *softwares* disponíveis que tratem de EQ,
- II. Construção e Apresentação do *software*,
- III. Sua aplicação e avaliação.

4.3.1 Prospecção de softwares disponíveis que tratem de EQ

A Tabela 4.11 traz um levantamento dos principais *softwares* de equilíbrio químico disponíveis e seus recursos e características (Montagna et al. 2011). Como se depreende da tabela, o foco destes *softwares* é o cálculo de parâmetros do

equilíbrio. Não estão contempladas representações de níveis macroscópico e microscópico, ficando restritos à linguagem simbólica matemática (gráficos e equações). Apesar de alguns desses *softwares* terem sido utilizados em estudos acadêmicos, apenas um deles (REACT³) foi o objeto de estudo, e não uma ferramenta de investigação. Adicionalmente, a maioria foi desenvolvida com tecnologia computacional já ultrapassada (o mais recente tem cerca de treze anos). Considerando as condições de educação superior no Brasil e a formação dos estudantes, é relevante notar que uma parte destes *softwares* é comercial e a maioria está apresentada em língua inglesa.

Os *softwares* já referidos tratam de equilíbrio químico para o nível médio e superior pela óbvia importância do tema no ensino de química. A contextualização do tema equilíbrio químico em Bioquímica é uma alternativa necessária para que se possa atuar diretamente no objeto da investigação sem a poluição de linguagens adquiridas em outras disciplinas. Dados não sistematizados, derivados de observações em sala de aula, indicam que, frequentemente, os alunos são capazes de responder questões matemáticas sobre equilíbrio químico de forma correta, mas não são capazes de reconhecer que muitos dos processos bioquímicos que estudam estão embasados no conceito mais fundamental de equilíbrio químico. Por consequência, esses conhecimentos ficam dissociados e imperfeitos.

Desta forma, o intuito da construção do *software* foi simular situações em que fenômenos de equilíbrio químico sejam encenados sob a máscara de tópicos regulares de Bioquímica, uma vez que não foi encontrado nenhum *software* desta natureza nos repositórios pertinentes.

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): Thermofluids; MINEQL+4.6, REACT, HySS, ChemEQL, Visual MINTEQ, JESS, AquaSoftSolution, Le Chat 2.0. Os *softwares* foram analisados segundo 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.

A Tabela 4.11 apresenta a súmula de resultados gerais para fim comparativo dos softwares analisados.

Tabela 4.16: Comparação entre os recursos disponíveis nos *softwares* analisados.

<i>Software</i>	Parâmetros						
	Figura em trabalho acadêmico?	Principais funções	Integração de níveis representacionais	Interface amigável	Língua	Uso livre?	Produção
Thermofluids ¹	Não	Cálc. EQ em fase gasosa	Não	Sim	Inglês	Não	2000
MINEQL+4.6 ²	Não	Cálc. EQ*	Não	Sim	Inglês	Não	2008
REACT ³	Sim	Cálc. EQ	Não	Não	Inglês	Não	1995
HySS ⁴	Sim	Cálc. EQ Especificação e titulação	Não	Não	Inglês	Sim	1999
ChemEQL ⁵	Não	Cálc. EQ	Não	Sim	Inglês	Sim	2000
Visual MINTEQ ⁶	Não	Cálc. EQ	Não	Não	Inglês	Sim	2000
JESS ⁷	Não	Cálc. EQ	Não	Não	Inglês	Sim	2000
AquaSoftSolution ⁸	Não	Cálc. EQ	Não	Não	Inglês	Sim	2000
Le Chat 2.0 ⁹	Sim	Cálc. EQ, modelo de partículas, curvas de concentração em fase gasosa.	Parcial	Sim	Portug.	Sim	1995

*Cálculo de constantes e concentrações no equilíbrio;

1 <http://energy.sdsu.edu/testcenter/testhome/index.html>

2 <http://www.mineql.com/>

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

4 <http://www.hyperquad.co.uk/hyss.htm>

5 http://www.eawag.ch/research_e/surf/Researchgroups/sensors_and_analytic/chemeql.html

6 <http://www.epa.gov/ceampubl/mmedia/minteq/>

7 http://jess.murdoch.edu.au/jess/jess_home.htm

8 <http://www.aquasolsoft.com/>

9 <http://nautilus.fis.uc.pt/wwwqui/equilibrio/port/Welcome.html>

Todos tiveram o primeiro acesso em 11/07/2010; foram reaccessados em 20/04/2014.

Da análise global dos dados apresentados na Tabela 4.16 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 listas. 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 4.1

Figura 4.1: 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 usuário. Embora esta seja uma condição facilitadora, seguramente não cumpre satisfatoriamente 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 não seria significativa para a questão do uso de *softwares* como ferramentas de ensino e aprendizagem do conceito de EQ. 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 calculadores, existe uma cultura instalada de que este é o modelo de *software* interativo para o ensino de equilíbrio químico. Estes fatores acentuam-se ainda mais se levarmos em conta que a maior parte dos softwares listados não estão relacionados a nenhum tipo de pesquisa em ensino, seja como objeto ou produto. Portanto, seu desempenho como ferramenta educacional, se testado, utilizou, provavelmente, parâmetros tradicionais de desempenho, que 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 do *software* neste quesito 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 EQ, a saída de dados na forma numérica pouco contribui à compreensão do conceito de equilíbrio dinâmico. A Figura 4.2 mostra o resultado de uma simulação típica de um calculador.

Figura 4.2

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)	(+1) 4.700E-07	-6.328	15.040
41000	H2PO4-	(-1) 2.150E-05	-4.668	19.570
41100	HPO4-2	(-2) 1.360E-05	-4.866	12.380
41200	H3PO4	(-1) 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

Figura4.2: Resultado de uma simulação rodada no software MineQL.

Do ponto de vista simbólico, o calculador adianta a introdução qualitativa e macroscópica à 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 aluno frente ao calculador de valores, o que sabidamente pouco contribui para o processo de elaboração mental necessário para a apropriação do conceito. Para o aluno, o calculador 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 calculador.

Com efeito, sequer são fornecidos 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 às quais foi 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 ideias, podem estabelecer-se como as únicas ideias estáveis no lugar dos conceitos

científicos que se deseja ensinar com o *software*. Isto, naturalmente, partindo do pressuposto que o aluno terá 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 4.3

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

A questão representacional pode ser atenuada com uma apresentação gráfica, já que as dimensões proporcionais de gráficos de 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 a 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 ideia 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. 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 submicroscópica do processo simulado. Em relação à maioria dos *software* analisados, o repertório de recursos representacionais neste *software* configura uma grande vantagem em relação aos demais, principalmente por favorecer a integração simbólica entre as representações gráficas, numéricas e submicroscópicas. 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 dedique-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 socioeconômicas e ambientais inquestionáveis, encontramos lacunas ao buscar alternativas aos calculadores para tratar de sistemas aquosos, os quais são fundamentais para 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 uma 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 tornar-se um acessório. Como tal, sua eficácia instrucional fica muito comprometida (Mortimer, Santos, 2002). Portanto, considerar a possibilidade de contemplar a contextualização deveria ser uma preocupação constante já na concepção dos *softwares*, de modo a 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 – em geral com mais de uma década - o que dificulta o acesso e a exploração de novos recursos de comunicação surgidos nos últimos oito anos, especificamente aqueles referentes à chamada “web 2.0”, como as redes sociais. Esta questão é central no caso do citado recurso, uma vez que, em muitos casos, a defasagem tecnológica impede em absoluto 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 sua divulgação e utilização pela maioria dos estudantes brasileiros.

As questões consideradas na discussão deste trabalho conduzem-nos à conclusão de que ainda há um halo nas tecnologias de ensino dedicadas a trabalhar num aspecto tão central do ensino de Química como o EQ. 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 EQ não tem recebido a atenção esperada para um conceito fundamental.

A mudança deste quadro requer o engajamento de grupos de pesquisa em ensino nas tarefas que visem ao desenvolvimento de *softwares* que contemplem a integração da questão fenomenológica dos sistemas em equilíbrio. Enquanto simuladores, é também desejável que incluam os casos em que o Princípio de Le Chatelier não pode ser aplicado. Sublinha-se que o desenvolvimento destes *softwares* esteja articulado com projetos de pesquisa educacional, condição que se mostra fundamental para a obtenção de recursos educacionais de real valia para professores e estudantes.

4.3.2 Construção do *Software* – concepção, objetivos e dificuldades

O *software*, doravante chamado de Simulador Virtual de Eletroforese (SVE), foi concebido como um instrumento para o estudo de EQ. Apesar da eletroforese estar em desuso como procedimento experimental, o princípio da técnica continua a ser um tema amplamente abordado em disciplinas de Bioquímica (Miskalo, 2010) justamente pelo caráter instrutivo do fenômeno da eletroforese e suas aplicações práticas em outros sistemas, como proteínas e ácidos nucleicos. Mesmo assim, ao abordar a técnica para aminoácidos e peptídeos é possível promover a integração dos níveis representacionais, ou seja, mostrar os fenômenos do Equilíbrio Químico do ponto de vista molecular, matemático e macroscópico, ressaltando as particularidades de todos os níveis ao mesmo tempo, e de forma relacionada.

Com relação à estrutura, o SVE foi concebido buscando a integração dos níveis representacionais (Marson, Torres, 2011) do fenômeno de EQ.

O SVE pode ser tanto um objeto de aprendizagem autônomo, prescindindo da intervenção do professor, como pode ser utilizado como um recurso visual em aulas expositivas. Quando utilizado de forma autônoma, torna-se uma experiência rica para o aluno, uma vez que o envolve de forma ativa na consecução das tarefas propostas, sobretudo por requerer o uso do roteiro de estudos. Tal instrumento baliza e organiza as etapas que devem ser cumpridas para o máximo aproveitamento do objeto como simulador.

O SVE é uma ferramenta de uso de livre, abrigada nos servidores do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, sob a tutela do orientador do presente projeto, Prof. Dr. Bayardo Baptista Torres, do departamento de Bioquímica do IQUSP e do co-orientador e colaborador, Prof. Dr. Guilherme Andrade Marson, do departamento de Química Fundamental do mesmo IQUSP. O SVE pode ser acessado no endereço eletrônico <http://www.iq.usp.br/bayardo/eletroforese> . O SVE encontra-se em fase de registo no setor de Inovação da USP, submetido por meio do Ofício DIR/0032014/IQ/290114.

4.3.3 Dificuldades e particularidades da construção de ferramentas computacionais

É muito mais demorado e trabalhoso construir ferramentas computacionais sem a participação de profissionais da área de TI e programação.

Um dos obstáculos encontrados durante a consecução do SVE foi a abrupta mudança do padrão de uso da linguagem Flash®. Em determinado momento, a

empresa proprietária da linguagem (Adobe®) anunciou que descontinuará as atualizações do Flash e que não haverá uma nova versão da linguagem, sendo que o padrão passaria a ser HTML5. Uma vez que a linguagem ainda é pouco dominada, e haveria a necessidade de contratação de empresa para a produção do SVE. Optou-se por essa via para que o SVE não nascesse com tecnologia obsoleta e pudesse gozar da máxima vida útil em termos de linguagem de programação, o que possibilita mais tempo de disponibilidade para utilização quando o SVE estiver *online*.

Esse processo foi lento, pois a equipe contratada, apesar do extremo profissionalismo, não apresentava proficiência alguma em química, de forma que todas as etapas tiveram que ser minuciosamente detalhadas nos seus aspectos mais fundamentais desde a natureza do fenômeno, bem como dos algoritmos utilizados para o tratamento da simulação. Este fator aumentou significativamente a demanda de trabalho, uma vez que para químicos/bioquímicos há muitos pressupostos no tratamento dos fenômenos, e toda etapa de elaboração precisava de controle muito rígido para evitar que surgissem artefatos e erros conceituais no SVE.

4.3.4 Construção e apresentação do software

I. A lógica da construção

O Simulador de Eletroforese é uma ferramenta criada com o objetivo de estudar o Equilíbrio Químico, promovendo a integração dos diferentes níveis representacionais: *macroscópico*, que pode ser visualizado no andamento e resultado das eletroforeses, *microscópico* (representado nas formas das espécies

em nível molecular) e *simbólico-matemático* (expresso na proporção das espécies, determinada pela equação de Henderson-Hasselbalch).

Os aminoácidos e peptídios foram tratados como ácidos polipróticos para a simulação. Apesar da equação de Henderson-Hasselbalch tratar da forma instantânea das espécies no meio, ela não trata do contínuo de uma titulação, por exemplo, prevendo as concentrações de todas as espécies no meio. Assim, foi necessário desenvolver uma rotina de programação para dar conta dos eventos que acontecem num contínuo de pH e também para dar conta do estado de ionização de todos os grupos ionizáveis no aminoácido ou no peptídio.

Para tanto foi proposto o seguinte roteiro para a produção do núcleo do simulador, ou seja, determinar a quantidade de espécies positivas, neutras e negativas de um peptídio de n aminoácidos num dado pH.

Entrada no simulador:

Peptídio: Histidina – Lisina – Aspartato – Alanina – Tirosina

pH: 8

Dados dos aminoácidos:

AA	Nome	pK1	pK _r	pK2	R Ácido ou Básico
Histidina	“Histidina”	1,8	6,04	9,33	B
Lisina	“Lisina”	2,16	10,54	9,06	B
Aspartato	“Aspartato”	1,99	3,90	9,90	A
Alanina	“Alanina”	2,35	Não tem	9,87	Não aplica
Tirosina	“Tirosina”	2,2	10,46	9,21	A

No peptídio fornecido há 5 aminoácidos com 6 grupos ionizáveis que influenciarão nos cálculos, cada grupo um com um pK de caráter, básico ou ácido:

Grupo ionizável	pKs	Caráter
NH ₂ da Histidina	pK ₂ 9,21	Básico
R da Histidina	pK _R 6,04	Básico
R da Lisina	pK _R 10,54	Básico
R do Aspartato	pK _R 3,90	Ácido
R da Tirosina	pK _R 10,46	Ácido
COO ⁻ da Tirosina	pK ₁ 1,99	Ácido

Notar que:

- O primeiro aminoácido contribui obrigatoriamente com pK₂.
- O último aminoácido contribui obrigatoriamente com o pK₁.
- Todos os pK_{RS} são incluídos.

Construção do *array* de trabalho

O primeiro passo foi, a partir do peptídio dado, criar um *array* de trabalho, reordenando os grupos ionizáveis pelos pKs, do menor para o maior e indicando se são ácidos ou básicos a partir da informação dos seus aminoácidos de origem:

1	1,99 A
2	3,9 A
3	6,04 B
4	9,21 B
5	10,46 A
6	10,54 B

Os grupos sem pK_R só devem ser considerados na construção do *array* de trabalho se estiverem nas pontas! No caso, alanina, aminoácido com grupo R sem atividade ácido/base, como está no meio do peptídio, não entra na construção do *array* de trabalho.

Construção de um *array* de cargas

Para determinar a quantidade relativa de espécies positivas, neutras e negativas, é preciso saber quantas espécies possíveis podemos ter a partir do peptídio dado. Para tanto, A partir do *array* de trabalho, deve ser montado o *array* de cargas, mantendo a ordem das posições, e atribuindo valores +1, 0 ou -1, de acordo com a regra:

Grupos Básicos: tem carga 0 sem H^+ e +1 quando ganham H^+

Grupos Ácidos: tem carga -1 sem H^+ e 0 quando ganham H^+

Para descobrir as espécies possíveis, hipoteticamente, partimos de todas as posições do *array* de cargas ajustadas para **ao valor correspondente ao “com H^+ ” (protonado)**, ou seja, para o início do processo:

- todos os grupos B assumem +1
- todos os grupos A assumem 0.

Então, no exemplo dado, a primeira espécie corresponde ao seguinte estado do *array* de cargas:

Espécie I

H⁺ posições 1 a 6:

1	0
2	0
3	+1
4	+1
5	0
6	+1
carga	+4

A partir desta espécie é possível construir as espécies possíveis removendo um H⁺ a cada posição, sucessivamente até que todas as posições estejam no estado “sem H⁺” (desprotonado). Matematicamente, isto corresponde a subtrair 1 de cada posição no *array* de cargas:

Tabela 4.17 Valores assumidos pelo *array* de cargas durante o cálculo:

Espécie I: positiva

H⁺ posições 1 a 6:

1	0
2	0
3	+1
4	+1
5	0
6	+1
carga	+3

Espécie II: positiva

H⁺ posições 2 a 6:

1	-1
2	0
3	+1
4	+1
5	0
6	+1
carga	+2

Espécie III: positiva

H⁺ posições 3 a 6:

1	-1
2	-1
3	+1
4	+1
5	0
6	+1
carga	+1

Espécie IV: neutro

H⁺ posições 4 a 6:

1	-1
2	-1
3	0
4	+1
5	0
6	+1
carga	0

Espécie V: negativo

H⁺ posições 5 a 6:

1	-1
2	-1
3	0
4	0
5	0
6	+1
carga	-1

Espécie IV: negativa

H⁺ posição 6:

1	-1
2	-1
3	0
4	0
5	-1
6	+1
carga	-2

Espécie VII: negativa

Todos os grupos sem H⁺

1	-1
2	-1
3	0
4	0
5	-1
6	0
carga	-3

Para o peptídio dado, temos então 7 espécies diferentes, resultantes da retirada sucessiva de um H^+ a cada posição do *array* de cargas. E cada qual tem uma carga total, resultante da soma das cargas em todas as posições do *array*.

Cálculo da concentração de cada espécie

A questão é, a cada vez que se constrói uma das espécies com o *array* de cargas, é preciso calcular qual a sua concentração no pH fornecido pelo usuário.

Para isso foi usadaa seguinte expressão:

Expressão 4.1: Cálculo da concentração de espécies num dado pH

$$\alpha_{H_{n-i}A^{i-}} = \frac{[H^+]^{n-i} \prod_{j=0}^i K_j}{\sum_{i=0}^n \left[[H^+]^{n-i} \prod_{j=0}^i K_j \right]}$$

Sendo $K = 1$ para $i=0$ e $j=0$, e os outros K termos são constantes de dissociação para cada grupo ionizável.

Ao aplicar a expressão acima para calcular a concentração de cada espécie, é importante considerar duas variáveis que controlam as somatórias e as produtórias:

- A variável n corresponde ao número total de grupos ionizáveis, portanto, ao tamanho do *array* de cargas. No caso do exemplo dado, $n=6$.

- A variável i corresponde à ordem de retirada do H^+ . A variável i varia de 0 (primeira espécie com todos os grupos com H^+) a n (espécie sem nenhum H^+).

Outra questão importante é que a expressão usa valores de K . Para usar a fórmula, deve-se lembrar que:

- $pK = -\log K$, portanto, $K = 10^{(-pK)}$
- $pH = -\log [H^+]$, portanto, $[H^+] = 10^{(-pH)}$

Assim, o conjunto de dados para cálculo é derivado dos valores de pK do *array* de trabalho, e o contador j na Expressão I deve seguir os valores de i . Para $i=0$ e $j=0$, $K = 1$.

	pK	K (log -pK)
1	1,99	1,023E-02
2	3,9	1,259E-04
3	6,04	9,120E-07
4	9,21	6,166E-10
5	10,46	3,467E-11
6	10,54	2,884E-11

No caso do exemplo dado, os valores de i e n correspondentes para calcular concentração das espécies são mostrados na tabela abaixo:

Tabela 4.18: Valores assumidos pelo array de cargas durante o processo de cálculo e os valores de i e n para cálculo da quantidade de cada espécie:

Espécie I H^+ posições 1 a 6:

$i = 0$

$n = 6$

1	0
2	0
3	+1
4	+1
5	0
6	+1

carga +3

Espécie II H^+ posições 2 a 6:

$i = 1$

$n = 6$

1	-1
2	0
3	+1
4	+1
5	0
6	+1

carga +2

Espécie III H^+ posições 3 a 6:

$i = 2$

$n = 6$

1	-1
2	-1
3	+1
4	+1
5	0
6	+1

carga +1

Espécie IV H^+ posições 4 a 6:

$i = 3$

$n = 6$

1	-1
2	-1
3	0
4	+1
5	0
6	+1

carga 0

Espécie V H^+ posições 5 a 6:

$i = 4$

$n = 6$

1	-1
2	-1
3	0
4	0
5	0
6	+1

carga -1

Espécie IV H^+ posição 6:

$i = 5$

$n = 6$

1	-1
2	-1
3	0
4	0
5	-1
6	+1

carga -2

Espécie VII**Todos os grupos sem H^+** **i = 6****n = 6**

1	-1
2	-1
3	0
4	0
5	-1
6	0
carga	-3

Computacionalmente, a Expressão I foi confinada numa função “CalculaEspecie” que recebe como parâmetros:

pKs: *array* de com os pKs envolvidos

i: variável inteira indicando o grupo ionizável em questão

pH: variável tipo *float* com o valor de pH entrado pelo usuário

e retorna a fração relativa da espécie i no pH dado.

Notar que o parâmetro *n* será o tamanho do *array* de pKs introduzido como parâmetro, e pode ser usado como variável interna da função.

Algoritmo global

Com isto, o algoritmo geral para calcular a concentração de espécies positivas, neutras e negativas num dado pH para um dado peptídio pode ser resumido nas seguintes etapas:

1) Construir um *array* de trabalho a partir do peptídio fornecido.

Neste *array* cada posição armazena o pK de um grupo ionizável e se o grupo é ácido ou básico. O *array* deve ser ordenado do menor pK para o maior pK.

2) Vetor de cargas a partir do *array* de trabalho

Neste *array* cada posição armazena +1, 0 ou -1 dependendo do caráter ácido ou básico da posição correspondente do *array* de trabalho. Este *array* inicia-se com valores correspondentes a situação “com H⁺” para todas as posições, criando a espécie completamente protonada.

3) calcular a concentração de cada espécie possível no pH dado e somá-la ao total de espécies positivas, neutras ou negativas.

Calcular a carga total do *array* de cargas somando o valor armazenado nas posições, para a espécie inicial.

Calcular a concentração desta espécie usando “CalculaEspecie” (i=0, pH=dado, pKs[...])

Somar o valor calculado na soma das positivas, negativas ou neutras, dependendo da carga da espécie.

Para todas as posições do *array* de cargas, iniciando na primeira posição:

```
{
    Constrói uma espécie nova subtraindo 1 da posição da
    contagem
    Calcula carga da espécie somando os valores armazenados
    no array de cargas
    Calcular a concentração desta espécie usando
        CalculaEspecie (i=contagem, pH= dado, pKas[...] )
    Soma o valor calculado à soma dos espécies positivas,
    negativas ou neutras, dependendo da carga calculada da
    espécie
}
```

Ao final do algoritmo:

A carga e a concentração das espécies de um peptídio de *n* aminoácidos será determinada e computada na soma de espécies positivas, neutras e negativas, para um dado pH.

4.3.5 O Simulador

O SVE é constituído por três partes: Introdução, Sobre a Técnica e Simulador.

Introdução: é a tela de abertura do SVE, onde são apresentados seus objetivos e possibilidades (Figura 4.4).

Figura 4.4: Tela de abertura do SVE

Figura 4.4: A tela de apresentação dá crédito às instituições que apoiaram o projeto.

Ressalta-se que os Créditos foram colocados em local de igual destaque em relação ao comando de Início do Simulador, visando valorizar o trabalho. Quando o usuário clicar em “Iniciar”, a tela que irá se apresentar será mostrada a seguir (Figura 2). Esta tela mostra o texto de Introdução do SVE no qual encontram-se explicitados seus objetivos, fundamentos e possibilidades, sempre ressaltando que o objetivo do SVE é o estudo do equilíbrio químico, mas utiliza-se como suporte fenomenológico a eletroforese de aminoácidos. Também é ressaltado que os fenômenos ali simulados são todos passíveis de conferência pelo usuário, por destacar que o princípio matemático que rege a simulação é descrito pela equação de Henderson-Hasselbalch.

Figura 4.5: Texto introdutório do princípio do SVE.

Introdução

Sobre a Técnica

Simulador

Roteiro

Introdução

O Simulador de Eletroforese é uma ferramenta criada com o objetivo de estudar o Equilíbrio Químico, promovendo a integração dos diferentes níveis representacionais: macroscópico, que pode ser visualizado no andamento e resultado das eletroforeses, microscópico (representado nas formas das espécies em nível molecular) e simbólico-matemático (expresso na proporção das espécies, determinada pela equação de Henderson-Hasselbalch).

A escolha da eletroforese é justificada pela sua simplicidade e por apresentar resultados prontamente analisáveis, determinados quantitativamente pelo Equilíbrio Químico. As amostras a serem analisadas são aminoácidos e peptídeos. Este estudo, entretanto, é precedido pela análise de um composto com comportamento eletroforético simples, por conter apenas um grupo ionizável, o ácido p-nitrofenil hidroxipropânico.

Para atingir os objetivos do software, devem ser seguidas as etapas do Roteiro de Atividades. Elas foram projetadas para que, por meio de experimentos de eletroforese, o usuário conceba o Equilíbrio Químico como um fenômeno dinâmico.

- É a representação de uma eletroforese em papel.
- Permite simulações de eletroforese com valores de pH entre 0 e 14, com até quatro algarismos significativos.
- Permite a simulação de eletroforese de uma amostra contendo até quatro compostos. Cada composto pode ser um aminoácido ou um peptídeo.
- Possui três níveis representacionais: a simulação da eletroforese como nos aparelhos reais (representação macroscópica), a visão microscópica (que representa as formas moleculares possíveis do meio) e a representação simbólico-matemática, que mostra as proporções das espécies possíveis.
- As concentrações das espécies podem ser calculadas com a equação de Henderson-Hasselbalch.

---

powered by

Figura 4.5: Na tela de Introdução do SVE são dadas as diretrizes para utilização do simulador, bem como seus objetivos e princípios. Em todas as telas foram mantidos os logotipos da instituições envolvidas no desenvolvimento do projeto.

Na Introdução estão declaradas quais as possibilidades de simulação do SVE, ou seja, é possível a montagem de sistemas com até quatro amostras diferentes, e cada amostra pode ser de um aminoácido até um tetrapeptídeo, totalmente definíveis pelo usuário. Esse detalhamento será dado posteriormente.

Um elemento importante é a Linha de Navegação que foi introduzida no cabeçalho de todas as telas (Figura 3). Ela permite ao usuário situar-se nas etapas

do uso do SVE, de forma que a navegação simule também as etapas de um procedimento experimental, em que a ordem temporal dos acontecimentos no SVE seja equiparável à experiência temporal de preparar um experimento real com os mesmos materiais.

Figura 4.6: Barra de navegação do SVE.

Figura 4.6: Os quatro tópicos apresentados na Linha de Navegação permitem ao usuário situar-se nas seções do SVE, acima; na linha inferior, o usuário pode se localizar na linha do tempo da execução da simulação da situação experimental.

Após a Introdução há o comando “Sobre a Técnica”, em que se explica o fundamento de uma eletroforese e se apresentam fotografias do equipamento real de eletroforese em papel, destacando suas partes constituintes e como funciona. Este ponto, apesar de breve, é importante para situar o usuário nas representações utilizadas na plataforma de simulação do SVE. Ao entrar nessa área, a tela da Figura 4.7 é apresentada.

Figura 4.7: Tela que explica o princípio da técnica.

Figura 4.7: Nesta tela há três fotos que explicam o aparelho de eletroforese e também explicam a representação utilizada no SVE. Apenas uma delas é mostrada nesta Figura, mas nas laterais da foto é possível notar os botões de comando que fazem a transição das imagens. Também se deve destacar que o aparelho utilizado na foto é claro com relação ao posicionamento das fitas de papel, os polos onde haverá a diferença de potencial e onde é depositado o tampão.

Após a etapa de explicação da técnica, o usuário deve entrar em “Simulador”, onde as etapas da simulação efetivamente se iniciam. A Figura 4.6 mostra que há uma Linha de Navegação global do SVE, e também há uma Linha de Navegação para o procedimento experimental. Nesta etapa, o usuário se depara com uma tela de instruções pormenorizadas quanto às possibilidades de simulação, bem como as definições do que é “Amostra” e “Composto” para a realização da simulação. A tela é apresentada abaixo (Figura 4.8).

Figura 4.8: Tela de instruções para seleção de amostras.

Introdução   Sobre a Técnica   Simulador   Roteiro

Selecionar Amostra   Determinar o valor do pH   Realizar a Simulação

Instruções!
A amostra pode conter até quatro compostos. Cada composto pode ser um aminoácido ou um peptídeo.

- No campo 1º composto selecionar o aminoácido de interesse. Imediatamente, aparecerá o botão [+] aminoácido. Sem acionar este botão, a amostra será constituída apenas pelo aminoácido selecionado.
- Clicando no botão [+] aminoácido, será formado um dipeptídeo - um novo campo de escolha de aminoácidos será oferecido. A operação pode ser repetida até a formação de um tetrapeptídeo. A sequência dos aminoácidos no peptídeo é escrita de acordo com a convenção bioquímica: da extremidade amino para a extremidade carboxila.
- Para adicionar o segundo composto, clicar em Adicionar composto. As etapas anteriores podem ser repetidas aqui.
- Podem ser adicionados até quatro compostos.

Amostra

1º Composto

Ácido p-nitrofenil-propa

[+] Adicionar Composto

Próxima Etapa →

Figura 4.8: Acima, as Linhas de Navegação, em seguida na caixa azul, as Instruções de Uso, que pode ser fechada (canto superior direito da caixa azul), e abaixo, os campos para escolha das amostras.

A caixa azul contém o seguinte texto:

Instruções!

A amostra pode conter até quatro compostos. Cada composto pode ser um aminoácido ou um peptídio.

- No campo 1º composto selecionar o aminoácido de interesse. Imediatamente, aparecerá o botão [+] aminoácido. Sem acionar este botão, a amostra será constituída apenas pelo aminoácido selecionado.
- Clicando no botão [+] aminoácido, será formado um dipeptídio - um novo campo de escolha de aminoácidos será oferecido. A operação pode ser repetida até a formação de um tetrapeptídio. A sequência dos aminoácidos no peptídio é escrita de acordo com a convenção bioquímica: da extremidade amino para a extremidade carboxila.
- Para adicionar o segundo composto, clicar em Adicionar composto. As etapas anteriores podem ser repetidas aqui.
- Podem ser adicionados até quatro compostos.

Na seção a seguir, que traz dados observacionais da utilização do SVE por alunos, haverá o relato de como foram seguidas estas instruções. No campo “Amostra” é possível escolher os compostos que farão parte de cada simulação. Na figura 5 o composto que está apresentado é o ácido *p*-nitro-fenil-propanoico. Esse composto é o único que não é um aminoácido, e portanto, o único que não possibilita a montagem de um peptídio. Ele foi incluído na lista de compostos por ser um ácido fraco, que é importante na estrutura do roteiro, e será explicado a seguir.

A próxima tela possível é apresentada na Figura 6 e mostra como é feita a escolha dos compostos, e como é a construção do peptídio.

Figuras 4.9a e 4.9b.

a.

Amostra

1º Composto

b.

Amostra

1º Composto

Figura 4.9a: É possível clicar tanto no *Select box* como no “Adicionar Composto”. Quando se escolhe o ácido *p*-nitrofenil-propanoico, não é possível incluir mais nenhuma molécula, pois o composto só pode ser esse. Entretanto, na tela abaixo observa-se que, ao escolher um aminoácido como primeiro da fila de compostos, há a possibilidade de montagem de um peptídeo. Figura 4.9b: Quando glutamato é escolhido como primeiro na fila, há a possibilidade de incluir ou excluir aminoácidos (botões azul e vermelho na tarja cinza do composto), e foi explicado nas instruções que isso significa a montagem de um peptídeo cuja sequência se dá no sentido amino terminal para carboxi terminal, da esquerda para a direita.

Uma vez preparada a amostra, passa-se à próxima etapa, que é a definição do pH de corrida da simulação. Este pode ser determinado tanto por clicar nas setas laterais como por digitação do valor desejado, com até quatro algarismos significativos, que se entendeu como suficiente para o nível de sensibilidade da técnica. A tela de escolha do pH é mostrada a seguir na Figura 4.10.

Figura 4.10: Instrumento de determinação de pH do sistema.

Selecionar Amostra   **Determinar o valor do pH**   Realizar a Simulação

Você também pode digitar o valor desejado.

Qual o pH do sistema?

7,00

← Etapa Anterior   Próxima Etapa →

Figura 4.10: Nesta etapa é possível tanto voltar à etapa a anterior como seguir adiante. Parece uma banalidade, mas ter liberdade de navegação ajuda significativamente na experiência de simulação, e portanto, na usabilidade.

Uma vez determinado o pH de corrida, estaremos diante da tela na qual ocorre a simulação. Esta tela é a mais importante do SVE, pois é onde acontece a ação do SVE e onde estão os elementos que integram os níveis representacionais. Ou seja, ali o usuário visualiza a representação (A) *macroscópica* da eletroforese, na fita de papel onde é feita a corrida; a representação (B) *microscópica*, mostrada pela distribuição de espécies e suas respectivas cargas; e a representação (C) *simbólico-*

matemática, que é a distribuição relativa de espécies carregadas e neutras mostrada em um histograma. A Figura 4.11 mostra a tela geral, e posteriormente serão detalhados os elementos citados acima.

Figura 4.11: Tela de Simulação

Figura 4.11: Estão explicitados 5 elementos: (1) a Visão Macroscópica, que é a representação do aparelho de eletroforese, deixando também claro o valor de pH escolhido para a presente simulação; logo abaixo e à esquerda, (2) um ícone roxo com a sigla de três letras especificando o aminoácido escolhido para a simulação; (3) Visão Microscópica, que mostra a distribuição de espécies carregadas; à sua direita, (4) o histograma (representação simbólico-matemática) que detalha as proporções relativas das espécies no meio, de acordo com sua carga líquida; (5) mais à direita, os botões de comando do simulador, que usa símbolos universais, e abaixo à esquerda, os botões de navegação que permitem a construção de um novo sistema a ser simulado.

A - Visão Macroscópica (Figura 4.12).

A Visão Macroscópica é uma representação simplificada do equipamento de Eletroforese. Ela mostra o papel de suporte da eletroforese e mostra as manchas da corrida, todas simultaneamente. Esta tela possui uma animação que representa a velocidade de corrida variando de acordo com o pH escolhido e, portanto, de acordo com a carga líquida da amostra utilizada. Essas informações são fornecidas na tela quando se coloca o cursor em cima do nome das amostras. Também há a animação do voltímetro, que é um elemento importante para mostrar que a amostra deixa de se mover quando não há voltagem, mas que o sistema jamais fica estático, ou seja, que o equilíbrio químico é um fenômeno dinâmico.

Figura 4.12: Tela de visão macroscópica.

Visão Macroscópica - pH: 3,5

Figura 4.12: Representação da visão macroscópica do simulador no momento zero da simulação. O círculo roxo no centro do papel representa a amostra aplicada. O voltímetro está em zero, mas a agulha se movimenta no sentido horário representando que o aparelho foi ligado. Optou-se por usar um papel quadriculado para que o usuário pudesse ter um referencial para medir quanto cada mancha se deslocou ao longo da simulação.

B - Visão Microscópica (Figura 4.13).

É uma caixa com bolinhas coloridas numa matriz de 50 x 20 bolinhas que permite se estabelecer proporções de até 1:999, que está dentro do limite dos algarismos significativos utilizados nos valores de pH e pKa dos compostos. As bolinhas são coloridas e cada cor representa um estado de carga líquida de cada composto da amostra. Esta representação fica permanentemente mudando de cor de acordo com as proporções das espécies no meio, que é dependente do pH e do composto escolhido, determinadas pela equação de Henderson-Hasselbalch.

Apesar das bolinhas coloridas não se moverem, sua mudança de cor representa o caráter dinâmico do equilíbrio químico, que é o elemento mais importante dessa representação e é exaustivamente explorado no roteiro de estudos.

Figura 4.13: Tela aumentada da Visão Microscópica.

Visão Microscópica

Figura 4.13: As bolinhas na cor ciano representam as espécies com carga líquida positiva, as cinzas, com carga líquida zero e as vermelhas, negativas. A produção de movimento browniano poderia comprometer o desempenho da navegação, por isso as bolinhas foram mantidas estáticas e somente mudam de cor.

C - Representação Simbólico-matemática – Histograma de proporções de espécies pelas suas cargas líquidas (Figura 4.14).

O histograma de proporções das espécies de acordo com sua carga mostra que, apesar das proporções calculadas matematicamente fornecerem um valor único, elas estão em estado estacionário, ou seja, sofrem pequenas oscilações ao longo do tempo, mas com uma resultante constante. Tal oscilação é diretamente proporcional e simultânea às mudanças que ocorrem nas cores das bolinhas na Visão Microscópica.

Figura 4.14: Visão aumentada da Representação simbólico-matemática.

Figura 4.14: No eixo das ordenadas é mostrada a composição percentual do sistema. As barras do histograma oscilam permanentemente, mesmo que os valores percentuais acima se mantenham constantes. O intuito é mostrar que, mesmo havendo um valor matematicamente fixo, há oscilação permanente dentro de uma pequena faixa pelo fato do equilíbrio químico ser um fenômeno dinâmico.

É importante destacar que, no momento em que a simulação da eletroforese chega ao fim, com o final da corrida sendo automático (a amostra não cai na cuba do tampão), tanto a Visão Microscópica quanto o histograma permanecem em movimento. Sua proximidade na tela permite que as questões do roteiro sejam resolvidas sem movimentações de tela que dissociem as duas imagens.

Uma vez apresentado o SVE e seus objetivos, será mostrado a seguir o roteiro fornecido. Reforça-se que o roteiro enriquece o objeto de aprendizagem e é uma parte fulcral no processo.

4.3.6 O roteiro de estudos

O roteiro de estudos é uma parte fundamental do SVE uma vez que o transforma num instrumento pedagógico com objetivos determinados, o levando o aluno e o professor a explorar tanto as possibilidades de uso da ferramenta, como abordar os tópicos previamente diagnosticados como críticos para a compreensão do fenômeno do EQ. Nesse sentido, todos os dados gerados anteriormente foram fundamentais para delinear com clareza os tópicos abordados no roteiro e instrumentalizaram a criação dessa ferramenta. O roteiro completo está disponibilizado no Apêndice I.

O roteiro para a utilização do software tem a lógica de propor tarefas para o usuário, e as respostas para as questões devem necessariamente ser obtidas das simulações realizadas. Assim, para cada etapa há uma instrução quanto a escolha dos compostos, a determinação do pH, a execução da simulação e os dados obtidos de cada simulação. Há, ainda, o apelo permanente de que as respostas sejam

baseadas na observação dos fenômenos e, em alguns casos, no pedido de explicações sobre fenômenos observados.

Um dado importante sobre o roteiro é que ele não se propõe a ensinar equilíbrio químico, mas sim, trabalhar os conceitos e atenuar os problemas oriundos da formação anterior do aluno. Admite-se, portanto, que o aluno que fará uso do SVE é detentor de conhecimentos de química fundamentais para a consecução das atividades propostas.

Outro ponto a ser destacado é que o roteiro segue uma ordem de complexidade crescente das tarefas a serem realizadas, e que muitas vezes algumas destas tarefas são redundantes, justamente para que haja o reforço da informação, do tratamento do fenômeno, da observação que deve ser feita, e da necessidade de submeter o aluno ao máximo de possibilidades que o SVE possui.

A hipótese é que submeter o aluno às diversas possibilidades de um sistema, mostrando que o fenômeno que o rege não muda, contribui para diluir a tendência de fragmentação do conhecimento, e auxilia o estabelecimento de um modelo de comportamento do EQ que sirva à proposta original do projeto que é destacar seu caráter dinâmico.

O roteiro encontra-se dividido em quatro partes.

Parte I. Comportamento de ácidos fracos.

Parte II. Comportamento de um aminoácido com cadeia lateral não ionizável.

Parte III. Comportamento de aminoácidos com cadeia lateral ionizável.

Parte IV. Comportamento de peptídios.

A parte I visa mostrar o comportamento de um único grupo ionizável. A escolha de um ácido e não uma base não foi arbitrário, uma vez que os parâmetros como pH e pKa referem-se genericamente à acidez do composto, e também pela forma de pensamento prevalente do aluno ser relativo à ionização de ácidos.

A parte II introduz a questão do caráter anfipático do aminoácido e as questões do ponto isoelétrico e carga líquida daí derivados. Além disso, são exploradas exaustivamente as mudanças de proporções das espécies ao longo de uma determinada faixa de pH e como isto se manifesta nos diferentes níveis de representação.

A parte III insere um outro elemento que aumenta a complexidade do sistema: a cadeia lateral ionizável. Tal parte irá tratar fundamentalmente dos mesmos tópicos abordados anteriormente, mas com maior dificuldade.

E, por fim, na parte IV, o comportamento de peptídios, onde se explora a questão dos diversos grupos ionizáveis possíveis, aumentando a complexidade do item anterior.

Cabe notar que as partes III e IV são aprofundamentos dos itens I e II e que não há necessariamente nenhum item novo a ser tratado do ponto de vista do fenômeno do EQ, mas sim, do tratamento conceitual do sistema com maior número de variáveis e com maior complexidade de abordagem dos problemas apresentados.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O SVE foi utilizado por alunos do segundo semestre do curso de Farmácia-Bioquímica da Universidade de São Paulo, na disciplina Bioquímica e Metabolismo de Biomoléculas, que conta com a carga horaria de 12 créditos (12hs semanais de

aula). Essa disciplina é oferecida concomitantemente à Química Orgânica, Físico-Química e Química Analítica Qualitativa.

Em vermelho, diagnósticos da Etapa II. Em verde, aplicação do SVE.

4.4.1 Resultados observacionais

I. No momento da utilização do Simulador

O curso teve início numa quinta-feira, às 8hs da manhã, no primeiro dia de aula após as férias escolares de Julho, com a apresentação da disciplina imediatamente seguida do primeiro PE, que durou até as 12hs. A tarefa do período da tarde, das 14 às 18hs, foi completar todos os itens do Roteiro do SVE nos mesmos grupos do PE definidos pela manhã; a tarefa foi realizada com todos os grupos na sala de computadores do Instituto de Química, acompanhado pelos docentes e monitores da disciplina.

A análise dos dados será então baseada em três momentos, cada um com suas particularidades e que compõem um cenário de avaliação. 1. A observação da utilização do SVE pelos alunos, acompanhado pelos relatos de monitores e

docentes; ao final dessa utilização solicitou-se que os alunos respondessem um questionário de avaliação do SVE, sem a necessidade de identificação pessoal, e que trouxesse uma apreciação de elementos considerados importantes no desenvolvimento da ferramenta. 2. O comportamento dos alunos, bem como declarações e referências ao SVE no primeiro GD após seu uso. 3. Um teste diagnóstico de conceitos com pontos abordados previamente na caracterização e tipificação do objeto do presente estudo, realizado em turmas anteriores.

O SVE foi utilizado numa turma do curso de Farmácia e Bioquímica da Universidade de São Paulo que contava com 81 alunos e tinha a estrutura descrita no item anterior. Os alunos foram levados à sala de informática do IQ e, em grupos de três a cinco pessoas, foram instruídos a resolver as questões do roteiro de estudos. Foram ainda lembrados que todas as questões ali propostas deveriam ser resolvidas exclusivamente com auxílio do SVE. Apesar de haver outros materiais disponíveis, nenhum grupo fez menção de utilizar outra fonte de consulta.

No local também estavam presentes dois docentes da disciplina de Bioquímica e três monitores; todos cientes dos objetivos do SVE e de como operá-lo, sobretudo para que o uso da ferramenta não constituísse uma barreira *per se*. Eles ainda foram orientados para que relatassem qualquer tipo de pergunta ou comentário relativo ao SVE, fossem técnicos (usabilidade, *bugs*, significados), conceituais, ou dúvidas genéricas sobre conceitos não relativos ao trabalho em questão.

Um ponto a ser aqui destacado é que o roteiro de estudos não previa uma correção ou entrega da atividade por escrito pelos grupos. Onde se poderia questionar como então garantir que os alunos fizeram as tarefas da forma correta ou

ainda, de que forma se pode garantir que eles não responderam qualquer coisa simplesmente para concluir a tarefa? Ou ainda, eles responderam coisas erradas que jamais foram conferidas pelos professores?

A resposta para tais perguntas se encerra com as seguintes observações:

i. Docentes e monitores frequentaram todos os grupos, interagindo com os mesmos e retomando as questões colocadas no roteiro. Além disto, sempre que dúvidas eram expostas, as etapas cumpridas eram retomadas nos comentários e na colocação de novas questões para que os problemas fossem resolvidos.

ii. O roteiro foi elaborado de forma a exigir que só fosse possível a plena consecução do trabalho se as questões tivessem sido resolvidas corretamente, ou se minimamente o grupo estivesse de acordo com as respostas por eles fornecidas.

iii. O trabalho em grupo prevê que haja discordâncias e tempos diferentes de entendimento e consecução de tarefas. Nesse sentido, os grupos haviam sido recém-formados, de forma que os vícios alegáveis para uma estrutura leniente de trabalho não se sustentam, uma vez que a atividade foi realizada no segundo período do primeiro dia de aula logo após o retorno das férias de meio de ano. Assim, mesmo que houvesse algum grupo com vícios residuais do semestre anterior, sua ocorrência no início das aulas ainda tem interferência menor (por questões motivacionais) do que o fato dos grupos ainda não serem plenamente operacionais neste momento do curso – já que observa-se uma mudança expressiva no comportamento do grupo ao longo das atividades realizadas no semestre (por observação de anos anteriores no mesmo formato de disciplina).

Apesar de ser uma análise impressionista – não houve registro em áudio ou vídeo -, ela foi compartilhada com os docentes e monitores presentes, que não

possuem qualquer relação com o trabalho ora realizado; e, no conjunto da obra, pode ser acrescentada como incremento observacional do comportamento dos alunos. Assim, o que se relatou, em ordem de prevalência, foi:

i. Dúvidas sobre um determinado aspecto do simulador na montagem dos peptídeos e o que eram “Amostra” e “Composto”. Apesar de haver instruções claras quanto a essas definições, foi notório que os alunos, em sua maioria, ignoraram as instruções nas telas iniciais do *software* e alegavam tal fato quando interpelados. Decidimos não especular sobre esse fato, mas deve-se notar que a interface foi de tal forma intuitiva (ergonômica?) que uma parte expressiva das tarefas foi consumada de forma plenamente satisfatória, com os alunos fornecendo respostas corretas a todas as interpelações dos docentes e tutores. Este é um dado importante pois sugere que a interface amigável não representou obstáculo ao desenvolvimento das atividades, não sendo, portanto, o SVE um obstáculo a ser superado.

ii. As tarefas que envolviam a descoberta de parâmetros ou a obtenção de respostas, ou seja, tarefas de investigação propriamente ditas, tiveram notada adesão por parte dos alunos, revelada pela quantidade de acessos aos docentes e monitores, sobretudo na solicitação de sua presença para discutir os resultados obtidos na simulação.

iii. Em geral os alunos apresentam certo grau de insegurança quando solicitados a responder questões para as quais não há uma resposta imediatamente obtível nos livros ou anotações. O fato de os alunos em geral não apresentarem esta relutância no trato com os docentes e monitores ao longo das atividades nos leva a especular que a tarefa não apresentou caráter punitivo ou intimidador para os alunos, dada a serenidade da interação durante as perguntas e interpelações.

iv. Ficou claro nas declarações que há forte sobreposição entre o significado de “carga líquida” e “neutralidade de carga”. Ficou também evidente que tal distinção tornou-se mais clara com a consecução do roteiro por meio das falas dos alunos ao se referirem aos fenômenos e na forma como referiam-se a esses conceitos e suas representações no SVE durante a interação com docentes e monitores.

v. Os monitores relataram a ocorrência de complicadas discussões, no período anterior, sobre o ponto onde é atingido o EQ. Pela percepção pessoal deles, a dificuldade seria devida ao fato que as dúvidas não haviam sido dirimidas então. Entretanto, estes mesmos monitores foram unânicos ao declarar que as dúvidas que haviam permanecido se dissipavam quando os alunos trabalharam com o SVE.

vi. Foi notável que, no início da atividade, havia sobreposição de conceitos e eventos quando se tratava de pH e pI. Em alguns casos era possível notar pouca ou nenhuma distinção no uso dos termos. Esta percepção dissipou-se ao longo da atividade.

Cumpra-se ressaltar que o relato exposto é fruto de observações pessoais, entremeadas por relatos de outros observadores com graus variados de intimidade com a estratégia da disciplina. Mesmo assim, defendemos que tais relatos devam ser considerados no conjunto dos resultados obtidos por constituírem um tipo de dado não quantificável, mas que, para o professor, constituem indícios não declarados do funcionamento e andamento de uma atividade didática proposta, principalmente quando as estratégias utilizadas não são as prevalentes na cultura do universo acadêmico em que está inserida a disciplina.

II. Avaliação da navegabilidade do software

Ao final da atividade foi solicitado aos alunos que respondessem um breve questionário do tipo Likert, em que eles deveriam declarar concordância ou discordância com assertivas sobre o SVE. Havia também espaço para considerações pessoais. O resultado das respostas dos alunos ao questionário está na Tabela 4.14 a seguir:

Tabela 4.14. Resultados da avaliação do SVE pelos alunos

Assertivas	Conceitos (n=81)				
	CF	C	NCND	D	DF
1. O objetivo do simulador estava claro	56%	34%	10%	0	0
2. As instruções eram fáceis de serem seguidas	66%	28%	6%	0	0
3. As representações do simulador eram claras	38%	44%	14%	4%	0
4. O resultado de cada simulação ficou claro	35%	36%	23%	6%	0
5. Os elementos componentes do simulador eram claros (representação microscópica, macroscópica, o histograma, voltímetro, os botões “iniciar” e “pausar”).	51%	36%	10%	3%	0

Tabela 4.14: A tabela mostra um questionário do tipo Likert que os alunos (n=81) responderam ao final da atividade onde foi utilizado o SVE; os conceitos são “concordo fortemente”(CF), “concordo”(C), “não concordo, nem discordo” (NCND), “discordo”(D), “discordo fortemente” (DF).

É importante ressaltar que todos os itens do questionário requeriam respostas de concordância para que considerasse a experiência de navegação do SVE como positiva. Em todos os itens, exceto o item 4, a concordância supera os 80%. No outro extremo, em nenhum item houve a ocorrência do “discordo fortemente”, e a

discordância global somada chegou a apenas 13%, o que significa um universo de apenas dez ocorrências, sem considerar que mais de uma dessas ocorrências pode ter advindo de um único aluno.

Outro dado relevante foi o tempo de consecução da tarefa pelos grupos. O tempo médio de consecução do roteiro pelos grupos foi de 2:45hs, sendo que 50% dos grupos concluíram a tarefa entre 2:30hs e 2:50hs, com o grupo mais célere tendo concluído em 1:50hs e o mais lento em 3:15hs.

III. Avaliação do aprendizado do conteúdo

No primeiro GD pós-uso

O primeiro GD após o uso do SVE ocorreu na semana seguinte. Tratava-se do primeiro GD da disciplina e, mesmo tendo uma estrutura desarticulada em relação ao seu máximo potencial, já revelava suas concepções fundamentais como estratégia.

O assunto tratado foi a estrutura e comportamento ácido-básico de ácidos fracos e aminoácidos, portanto do conteúdo explorado pelo *software*. As questões do roteiro foram pormenorizadas e eventualmente repetitivas, pois nesse momento esperava-se que os alunos não tivessem desenvoltura na estratégia.

Em relação ao *software*, deve-se ressaltar os seguintes dados observacionais.

i. Houve citação espontânea do *software* em momentos distintos da discussão e em questões que tratavam de assuntos variados. A citação espontânea é um indício de que a atividade foi de alguma forma significativa para os alunos que evocaram, e foi recuperada pelos que mostraram anuência com a evocação.

ii. Na discussão sobre a proporção das espécies num dado pH foi dito que “no equilíbrio deve haver 50% de cada espécie no tubo”. A afirmação provocou reação espontânea de alunos que declararam explicitamente que no SVE se viu que o estado de equilíbrio não significa “meio a meio” na reação, mas sim, representa um estado determinado pela K_{eq} .

iii. No momento em que se sugeriu que a constante de equilíbrio poderia mudar com a modificação da concentração das espécies no meio, novamente o SVE foi evocado pelos alunos para dirimir a dúvida.

iv. Apesar de algumas manifestações pontuais de que só há EQ no pl, rapidamente alguns alunos intervêm e se manifestam no sentido da correção do conceito.

v. Houve significativo refinamento na representação das formas iônicas das espécies em relação a anos anteriores, tanto analisado pelos dados do presente trabalho mas, principalmente, pela declaração do docente responsável (orientador do projeto) sobre turmas anteriores ao período do presente projeto.

De forma geral, outras afirmações pontuais e menos evidentes sugerem que o SVE afetou positivamente os alunos.

O roteiro do SVE estressa o aspecto da eletroforese, apesar de haver grande ênfase nas questões de EQ. Mesmo assim, a grande ênfase em pKa e pl fez com que os alunos tivessem ideias fixas com relação a esses valores nas questões do GD.

Diagnóstico Pós-SVE

O diagnóstico pós-SVE também contou com a utilização de testes que já haviam sido utilizados nos diagnósticos de turmas anteriores. É possível, por meio de um mesmo teste, verificar o desempenho de alunos de perfis similares numa mesma tarefa proposta.

Assim, os dados serão apresentados de forma a mostrar as diferenças nas turmas analisadas, sendo que a turma anterior (2012) não fez uso do SVE como a turma atual (2013), e como forma de acompanhar a evolução dos trabalhos.

Os testes realizados nesse momento foram os mesmos realizados na ETAPA II, Teste 1, p.62.

Tabela 4.15: Comparação do perfil de erros entre os alunos nos anos de 2012 e 2013.

Itens da Questão	Perfil de erros 2012	Perfil de erros 2013
a) Somente em I	3/25 (12%)	4/82 (5%)
b) Somente em II	1/25 (4%)	2/82 (2,5%)
c) Somente em III	6/25 (24%)	1/82 (1%)
d) Somente em I e II	1/25 (4%)	0
e) Somente em I e III	2/25 (8%)	3/82 (3,5%)
f) Somente em II e III	3/25 (12%)	2/82% (2,5%)
g) Em todos os sistemas	10/25 (40%)	0
h) Em nenhum dos sistemas	0	0
Soma das respostas erradas	16/25 (64%)	12/82 (15%)

Tabela 4.15: Em todas os testes há significativa diminuição na quantidade de erros cometidos.

Discussão:

Quando se compara este resultado com os obtidos com os alunos que passaram pela atividade com o SVE fica claro que há uma expressiva diminuição na quantidade de alunos que comete os mesmos erros do ano anterior proporcionalmente. A hipótese é que no roteiro do SVE procura-se afastar a imagem de que o EQ seja uma situação em que haja quantidades iguais de duas espécies dos dois lados de uma balança. Quando se mostra que há possibilidade de diversas proporções na Visão Microscópica, há a intenção de explicitar que estar em equilíbrio de forma alguma significa haver quantidades iguais de compostos. Esses dados então sugerem que pode ter havido um efeito positivo do SVE sobre a aquisição deste conceito.

Para o Teste 2 a seguir foi utilizado o mesmo teste da Etapa II, que encontra-se na página 64.

Os dados apresentados a seguir foram agrupados de forma a mostrar os resultados obtidos na turma de 2012 em comparação com os resultados obtidos na turma que passou pela experiência do SVE (2013).

Dados obtidos:**Tabela 4.16.**

Perfil de erros totais					
Item	Turma 2012	Turma 2013			Total 2013
	Grupo I	Grupo I	Grupo II	Grupo III	
a	2/25 (8%)	2/24 (8%)	3/28 (9%)	2/28 (7%)	7/80 (9%)
b	7/25 (28%)	1/24 (4%)	2/28 (7%)	2/28 (7%)	5/80 (6%)
c	9/25 (36%)	8/24 (33%)	12/28 (43%)	7/28 (25%)	27/80 (34%)
d	0/25 (0%)	0	0	0	0
e	12/25 (48%)	8/24 (33%)	9/28 (32%)	9/28 (32%)	26/80 (33%)
f	3/25 (12%)	2/24 (8%)	1/28 (3%)	2/28 (7%)	5/80 (6%)
g	2/25 (8%)	3/24 (12%)	5/28 (18%)	1/28 (4%)	9/80 (11%)
h	11/25 (44%)	1/24 (4%)	0	3/28 (11%)	4/80 (5%)
i	13/25 (52%)	9/24 (37%)	8/28 (28%)	9/28 (35%)	26/80 (33%)
j	5/25 (20%)	2/24 (8%)	2/28 (7%)	1/30 (4%)	5/80 (6%)

Tabela 4.16: Os dados apresentados estão em termos absolutos, ocorrência/total de alunos e a porcentagem em parênteses. Apenas os itens “c” e “g” não apresentaram variações.

Os dados apresentados na tabela 4.16 mostram o índice de erros nos testes realizados. Na turma de 2012 o teste foi realizado em apenas um grupo de alunos, ao passo que em 2013 foi realizado nas três turmas que compõem o grupo total de alunos da Faculdade de Ciências Farmacêutica da Universidade de São Paulo.

No item a, o percentual de erro manteve-se no mesmo patamar, tanto para alunos que passaram pela experiência do SVE, como para alunos que não tiveram a mesma chance. Mesmo assim, é notável que uma quantidade próxima a 10% dos alunos não se dê conta da natureza dinâmica do processo de EQ, e, principalmente que “equilíbrio químico” não tem qualquer correspondência com “concentrações

iguais de reagentes e produtos”. Tal concepção segue bastante estável entre os alunos. A defesa em relação ao SVE para esse caso é de que a ferramenta não tratou em nenhum momento de questões envolvendo concentrações de espécies no meio, e nem das consequências de suas alterações.

No item *b*, a diminuição expressiva dos erros pode ser atribuída ao fato de o SVE tratar explicitamente da proporção das espécies no sistema em nível microscópico, e, portanto, permitir a inferência de que valores numéricos exatos são mensuráveis no sistema.

No item *c*, o nível de erros se manteve alto, novamente pela questão da igualdade de concentrações no sistema, donde retoma-se o argumento fornecido para o item *a*.

O item *d* aparentemente teve pouco índice de discriminação ou ainda, tratou do assunto de uma forma que não deixou dúvidas quanto a não haver relação entre os fenômenos citados.

No item *e*, apesar de uma diminuição no índice de erros após o uso do SVE, é temerário afirmar que seja por causa da experiência dos alunos. Em primeiro lugar pelo fato do SVE não tratar explicitamente da questão do significado dos valores da K_{eq} de um dado sistema; em segundo lugar, pelo fato de haver uma proporção de erros parecida nos três grupos avaliados, dando margem para o argumento de que é uma ocorrência pontual, sobretudo pelo fato a seguir; em terceiro lugar, a questão da “mudança da constante” teve ocorrência significativa em todos os testes realizados em todos os tempo desta pesquisa, portanto é um dado a ser considerado em pesquisas futuras.

O item *f*, analogamente ao item *d*, apresentou um índice de erro baixo e homogêneo nos dois testes realizados, com uma diferença pouco significativa em termos absolutos, apesar de chamar atenção em termos percentuais. Entretanto é curioso notar que neste teste a questão temporal do EQ parece ser mais consistente para os alunos, possivelmente por fazer uso de um discurso que lhes é inculcido.

No item *g* o índice de erros permanece baixo nos dois testes, mas apresenta uma oscilação maior entre os grupos, que dificulta uma apreciação mais profunda. Entretanto, é notável que numa situação mais caricatural de igualdade de concentrações ainda persista a ideia de que há a necessidade dessa igualdade para o estabelecimento do EQ; talvez justamente por ser caricatural é que o índice de erros seja baixo, por induzir o aluno ao acerto.

O resultado observado no item *h* sugere fortemente que houve interferência do SVE no índice de erros, precisamente pelo fato de haver a integração da representação microscópica com as proporções matemáticas.

O item *i* segue com alto índice de erros, e compatível com o resultado observado no item *e*; a mesma discussão aqui se aplica pois o mesmo discurso foi empregado, no caso a questão do significado de “constante”.

O item *j* apresenta uma diminuição no índice de erros que se manteve nos três grupos de 2013, sugerindo que ela de fato pode ter sido significativa e determinada pela experiência com o SVE. Entretanto isso é incoerente com as outras afirmações (*a/g*) que se mantiveram altas, e portanto, pode levantar questões acerca da redação dos itens e como discursos diferentes podem induzir ao erro ou ao acerto. Nesse caso, não há formas de se avaliar se uma coisa ou outra aconteceu no teste, mas fica como questão a ser avaliada em pesquisas futuras.

Cabe ressaltar que esse foi o único conjunto de dados em que os grupos de alunos foram mantidos separados. Por conta da baixa variação entre os índices de erros nos grupos, o único dado utilizado foi para o total dos três grupos, pelo entendimento de que a avaliação separada dos grupos não se fez necessária.

A seguir, serão apresentados e discutidos os dados referentes não mais aos resultados dos testes individualmente, mas ao nível de coerência entre os erros e acertos em testes que versavam fundamentalmente sobre as mesmas situações.

Tabela 4.17:

Testes	Turma 2012		Turma 2013	
	Erro em um dos itens	Erro em todos os itens	Erro em um dos itens	Erro em todos os itens
b-h	6/25 (24%)	7/25 (28%)	4/80 (5%)	1/80 (1%)
e-i	7/25 (28%)	10/25 (40%)	15/80 (19%)	11/80 (14%)
a-g-j	9/25 (36%)	1/25 (4%)	20/80 (25%)	0

Tabela 4.17: Tabela 1: Índices de coerência de erros entre os itens agrupados por coerência de situação abordada. Os dados apresentados estão em termos absolutos, ocorrência/total de alunos e a porcentagem em parênteses. Duas combinações de erros mostram aumento notável de desempenho dos alunos nos testes aplicados.

Os dados apresentados na Tabela 4.17 mostram como foi a coerência dos erros nos testes. Em todas as situações o que se observou foi o aumento da coerência nas respostas dadas pelos alunos bem como uma diminuição significativa nos índices de erros em todas as combinações de um grupo de alunos para outro. Assim, na turma de 2012 nos testes *b* e *h*, 24% dos alunos errou um dos itens e uma porcentagem maior errou os dois itens.

Cabe ressaltar que esses dois grupos de alunos não são os mesmo (quer dizer, não foram computados em dois erros aqueles que já haviam errado pelo menos um), portanto, mais da metade dos alunos errou pelo menos um dos itens. Entretanto, quando comparado ao grupo que passou pela experiência do SVE, este segundo grupo de alunos somados não chega a um quinto do percentual de erros em relação ao grupo anterior.

É um resultado que não chega a surpreender, no entanto, pois a tela de representação microscópica do SVE é um recurso que mostra a dinâmica do meio experimental e, portanto, permite a inferência de que aquelas espécies que ali estão são mensuráveis. Sobretudo, ao se considerar que ao integrar os níveis representacionais com as proporções de concentração, somado à experiência da simulação, permitir que ele associe o SVE a uma situação real, portanto, passível de medição, nesse caso, a mais simples possível, que é pelas concentrações.

Apesar dos resultados individuais nos itens *e* e *i* terem sido semelhantes nos dois grupos de alunos (2012 e 2013), como mostrado na discussão da tabela anterior, o fato é que na análise de coerência dos erros há uma diminuição percentual consistente na comparação entre as duas turmas. Como discutido anteriormente, pelo fato de a questão explícita da K_{eq} não ter sido tratado no SVE, essa diminuição discreta pode ser o resultado de fatores não associáveis diretamente a ele, mas sim ao questionário. Mesmo assim, insistimos no quão notável é o fato dos alunos não se darem conta de que uma constante não muda, por mais irônica que pareça essa afirmação.

Com relação ao bloco *a-g-j*, a diminuição no índice de erros em um único item e o desaparecimento de erros em todos os itens simultaneamente sugere que a

experiência com o SVE e o roteiro, justamente pela redundância do segundo nas tarefas cobradas, pode ter chamado a atenção dos alunos para as questões envolvendo a natureza dinâmica do processo, permitindo assim a inferência de que, mesmo após perturbações, o sistema acaba se acomodando numa forma cujos parâmetros são definíveis. Mais que isso, fica claro pela exaustão com que foi explorado no roteiro o fato de que o EQ se estabelece no sistema, mesmo com várias proporções diferentes de reagente e produtos. Quer dizer, em valores diferentes de pH, as proporções das espécies muda, mas mesmo que em algumas espécies encontrem-se em proporções iguais (por exemplo quando o $\text{pH}=\text{pI}$), mesmo assim é uma situação particular, e também está bastante estressado que há outras possibilidades, e ainda assim é mantido o EQ. Este ponto ressalta a importância do roteiro como ferramenta componente do SVE e que, apesar do SVE poder ser utilizado livremente em outras estratégias, ter instruções claras (segundo avaliação dos usuários), e fornecer uma gama apreciável de possibilidades, um roteiro não é um mero coadjuvante e apresenta potencial de direcionar e orientar questionamentos que atue em pontos específicos identificados nos alunos de acordo com as necessidades observadas pelo usuário docente na elaboração de suas próprias situações-problema.

Além da diminuição nos erros, houve também um aumento na coerência dos acertos na turma que foi submetida à experiência do SVE. Esses dados são mostrados na tabela 4.18 abaixo, e discutidos a seguir.

Tabela 4.18: Coerência de acertos.

Testes	Turma 2012	Turma 2013
	Acertos	Acertos
b-h	12/25 (48%)	69/80 (86%)
e-i	8/25 (42%)	52/80 (65%)
a-j-g	18/25 (72%)	60/80 (75%)

Tabela 4.18: Os dados apresentados estão em termos absolutos, ocorrência/total de alunos e a porcentagem em parênteses. Apenas a combinação de itens ajg não apresentou variação importante.

Tabela 4.19. Comparação dos perfis de erros em duas turmas:

	Turma 2012	Turma 2013
Ocorrência de erro nas três combinações	3/25 (12%)	0
Ocorrência de erro em duas combinações	6/25 (24%)	0
Ocorrência de erro em todos os itens	19/25 (76%)	11/80 (14%)

Tabela 4.19: Os dados apresentados estão em termos absolutos, ocorrência/total de alunos e a porcentagem em parênteses. A diminuição nos erros totais também se reflete na diminuição de erros em combinações de itens. Apenas a combinação e-i foi crítica, e mesmo assim, inferior aos testes na turma 2012.

Acertos Totais:

2012: 2/25 (8%)

2013: 26/80 (32%)

O Teste 3 a seguir foi o mesmo realizado na Etapa I, que encontra-se na página 32.

Resultado:

Acertos totais: 66%

Alegam que deveria ser fornecido um valor de pH e acertam: 50%

Não citam a dependência do pH: 16%

Erros:

Alegam que 50% das espécies passam pela membrana: 20%

Fazem cálculos que chegam a valores incoerentes: 10%

Deixam em branco: 4%

Discussão:

No teste apresentado houve aumento de expressivo de respostas inequivocamente corretas, permitindo supor que o fator interveniente tenha sido o SVE, pois este trata especificamente da questão das proporções molares num EQ em diferentes pHs e, portanto, em diferentes condições que mostram que o EQ é uma condição dinâmica e que não importa qual o valor de pH, sempre haverá uma proporção de moléculas sem carga, mesmo que sejam números da ordem de 10^{-14} (supondo um $pK_a=14$ e um $pH=0$, em uma situação absolutamente caricatural e exagerada); assim, mesmo em se tratando de concentrações micromolares, isso ainda significa a presença de moléculas na ordem de 10^4 ou 10^3 (dependendo do volume).

4.5 CONCLUSÕES

O SVE foi uma ferramenta que estimulou o trabalho dos alunos num tópico que em geral é árido e que pouco se relaciona com o todo da Bioquímica – não se

esperaria que um aluno tivesse interesse prévio e motivação para estudar o comportamento de ácidos fracos.

Os testes mostraram que, mesmo com um tempo de trabalho de apenas uma sessão com o SVE – portanto, no máximo, um período de quatro horas de aula – houve alterações perceptíveis no desempenho dos alunos, tanto nos testes como nas observações de classe. Independentemente do referencial adotado, a atuação em conceitos alternativos ou malformados é demorada e com resultados que dependem de tempo para acomodação. No caso da intervenção via questionário em sala de aula, os resultados foram mais expressivos num espaço de tempo mais curto. Além disso, mesmo ficando claro que o SVE não tem por objetivo atuar no fenômeno da eletroforese, é evidente que surte efeito nessa parte do conteúdo.

Por fim, o SVE não é meramente descritivo, mas sim um instrumento indutivo, ou seja, propõe situações que conduzem o aluno à descoberta. Portanto, o aluno deve concluir os conceitos derivados dos fenômenos observados na simulação.

5 DISCUSSÃO GLOBAL

É necessário reforçar que os dados sobre conceitos alternativos em Ensino de Química estão bem documentados em todos os níveis de escolaridade onde esse tópico é tratado. Entretanto, dois dados que surgem nesse trabalho são relevantes pelo ineditismo. Em primeiro lugar, a ausência de dados sobre essa interferência na construção de conhecimentos em Bioquímica, e que aqui aparecem pela primeira vez, e de forma clara. É esclarecedor notar que tanto a simbologia/representação de EQ numa reação química é francamente ignorado por uma parcela significativa dos alunos, bem como a franca confusão feita com os significados dos diversos “k” que compõem a simbologia química e o vasto universo de significados associados aos conceitos por eles tratados. Além disso, também se revela o comprometimento da compreensão de vias metabólicas, bem como as consequências reveladas na interpretação de dados experimentais, ainda que hipotéticos. A presente pesquisa conseguiu revelar algumas dessas falhas e indicar algumas de suas consequências e, certamente deixar direcionamentos para pesquisas futuras.

Em segundo lugar, o aspecto do tratamento algébrico dado às questões de EQ, que são tangenciados na literatura, ou ainda, tratados especificamente no contexto das múltiplas representações. Temos motivos para ir além dessa visão genérica e apontar situações mais claras e delimitadas do que se passa nesse contexto. Os dados do presente trabalho mostram o amplo uso de ferramentas matemáticas (equações e fórmulas) ou de recursos algébricos (resposta com sentido matemático e não químico) nas respostas dos testes, mas sem o lastro conceitual químico. Isso sugeria que o aluno, dentre outras questões relevantes, não compreende, por exemplo, que a ferramenta matemática é uma forma de

modelagem para o fenômeno e necessariamente é derivada da observação do mesmo. (Esse tema não foi abordado na presente pesquisa, mas evidentemente pode ser retomado no futuro). E, pior, acaba sendo a ferramenta utilizada para responder ao teste, sem que a resposta esperada sequer fosse matemática, mas conceitual química – e, portanto, sem significado químico. Também temos motivos que permitem especular sobre o motivo de forte reforço em uso de ferramentas matemáticas. A tradição cartesiana da modelagem matemática como a forma de explicação última da natureza, e, dentro de um contexto mais operacional, o fato de o ensino de física e matemática basearem-se fortemente em fórmulas para a resolução de problemas. Não é incomum que as aulas aconteçam revelando-se fórmulas a serem decoradas e utilizadas na resolução de problemas, e não que os conceitos sejam apresentados, ressaltando a origem do problema epistemológico posto, ou ainda, da natureza do fenômeno para que, a seguir, sejam mostradas fórmulas derivadas da observação do fenômeno que servem como modelos matemáticos explicativos desses fenômenos e que, mais que isso, sejam a base para as assunções indutivas acerca do fenômeno e, portanto, a forma de se fazer previsões sobre o comportamento dos sistemas que se comportem de acordo com aquele modelo matematicamente construído. Quer dizer, a fórmula é um construto derivado da observação de fenômenos naturais, e não a explicação para esses fenômenos. E, numa afirmação provocativa, é questionável se esse problema reside apenas nos alunos, mas se não é um viés (ou ainda um vício) derivado das próprias concepções dos professores – ou pior, dos vícios da prática docente fortemente centrada no conteúdo e na resolução mecânica de problemas que não tratam da natureza dos fenômenos, e, portanto, da essência do funcionamento da natureza.

Em ambos os casos, é evidente que alunos e professores não examinam suas próprias concepções e acomodam uma forma de realização de tarefas que não prima pela crítica, sobretudo a crítica sobre si.

Portanto, ao longo da escolaridade, a metacrítica e, portanto, a metacognição são habilidades muito pouco desenvolvidas, e que esforços devem ser empreendidos nesse sentido (Andretta et al. 2010). Entretanto, ainda são oriundos quase exclusivamente das experiências pessoais dos indivíduos, raramente sistemáticos. Desta forma, a estrutura descrita de um GD na disciplina mostra características comuns ou desejáveis a GDs, mas não revela particularidades operacionais que, em geral, são geradores de ansiedade e insegurança em docentes que nunca tiveram contato ou oportunidade de colocar em prática essa forma de trabalho. Assim, é cabível aqui observações pertinentes que são recorrentes na estrutura do GD.

Devido à ausência de experiências anteriores com o trabalho em grupo, e o experienciar a autonomia num grupo de trabalho, é natural que o andamento do GD seja mais lento no início, tanto por o aluno ter o estranhamento com a estratégia, como pelo fato de não estar habituado ou ter sido treinado para avaliar seus próprios conhecimentos e desconhecimentos. Muitos alunos podem ter a sensação de terem entendido o que ouviram e discutiram durante o GD, entretanto não têm elementos para tal julgamento até que sejam testados de alguma forma. O fato é que nunca foram confrontados com seus próprios conhecimentos de forma clara, sem censuras, punições ou avaliações, de forma que a metacrítica é um processo difícil pelo simples fato de sua escolaridade anterior ter feito esse serviço para ele, eximindo-o de se auto-avaliar.

Vale também ressaltar que, no início, os alunos não conseguem se expressar de forma clara. Isso é esperado, pois em geral espera-se que eles recuperem conteúdos das aulas, apostilas e livros, sem que seja dado o seu próprio significado ao conhecimento que ele supostamente adquiriu no processo de aprendizagem. Assim, fica evidente que muitos querem se manifestar, o fazem, ou não se negam quando incitados, mas as opiniões expressas a respeito do que estão discutindo sugerem que os conceitos não são suficientemente claros para que se manifestem de forma fluente. Com isso, o discurso fica submetido ao tempo de organização mental da informação a ser verbalizada, e emerge de forma entrecortada, às vezes encriptada pela forma de pensamento do indivíduo.

Se a verbalização permite ao indivíduo a constatação da forma de (des)organização do próprio pensamento para si e para o outro; pressupõe-se que para o indivíduo que adere à atividade do GD este fato revela quanto de metacrítica lhes falta, donde deriva a pertinência da estratégia como forma de estimular a metacognição, ou seja, poder verificar aquilo que se sabe e, mais importante talvez, o que não se sabe – que encontra respaldo na literatura (Tanner, 2012). Uma suposição que se faz quanto a isso encontra-se no processo de psicoterapia. Nele, o paciente é instado a falar, pois tanto o terapeuta encontra aí subsídios para sua atuação, como oferece ao paciente uma oportunidade de verificar seus próprios pensamentos, e isso deve ser organizado e articulado. Para o terapeuta a própria desarticulação e a estrutura do discurso já constituem material para diagnósticos. Sem querer ir tão longe nesta comparação, a condição do aluno nesse caso é inédita, pois as estratégias passivas não permitem ou incentivam a manifestação do aluno.

Assim, o aluno, nessa estratégia, só consegue ser plenamente atuante ou fazer parte do processo se conseguir atingir um nível de organização das próprias ideias, e, portanto, uma organização no discurso tal que não existam quaisquer impeditivos para a sua participação.

O que é notável no caso dos GDs é que precocemente os alunos se desinibem por perceberem que o ambiente é propício para sua manifestação. Há um grande cuidado para que as manifestações não sejam tolhidas ou interpeladas, sejam com críticas ou elogios: o primeiro por inibir o aluno que se manifesta, o segundo por, indiretamente, dizer que se uma ideia é boa, a outra não deve ser.

Deve-se destacar também que a possibilidade de atividades que poderiam ser consideradas consumidoras do tempo de aula (por exemplo um aluno ir à lousa desenhar um esquema, gráfico ou estrutura química) nesta estratégia passam a ser momentos de “fôlego mental”. Como o ambiente é de grande atividade cognitiva na resolução de problemas novos e situações com as quais os alunos ainda não haviam se deparado, é fundamental que haja um intervalo de tempo para a organização das ideias discutidas até o momento, antes que se parta para um novo problema o qual, via de regra, é mais complexo que o anterior.

O efeito é claramente observável no aluno que vai até a lousa, pois ele é obrigado a representar, de forma não verbal, os elementos mentais e, portanto, seu próprio construto. O esquema feito na lousa, que não deixa de ser um esquema mental do indivíduo, é repetidamente referido pelo mesmo por termos como “isso aqui” e “aquilo ali” ao mesmo tempo que aponta para elementos que ele mesmo desenhou na lousa. Nesse momento o aluno passa a articular seu discurso de forma mais clara, pois ele teve tempo para materializar sua criação mental, estando agora

mais seguro para discutir ou falar sobre aquele objeto, fenômeno ou esquema que ele mesmo criou. Finalmente o discurso ganha fluência, inclusive com o aumento da acuidade dos termos escolhidos para as explicações e a forma mais criteriosa com que cria as relações entre os elementos explicados.

Não é desprezível que toda essa articulação também esteja ocorrendo para cada um dos alunos que estão envolvidos nas atividades e que não estejam na lousa. Certamente eles também são beneficiados pelo tempo disponível para ajustar suas ideias e modelos mentais ao que foi apresentado ou esquematizado bem como para procurar e ou encontrar correspondências com suas ideias e sintonizá-las com o que está sendo discutido no momento pelo grupo, gerando assim a percepção de se ver pertencente à criação de uma resposta coletiva. E ainda que esse indivíduo não se manifeste no grupo durante a atividade, ele não está imune às discussões e nem é inteiramente passivo no processo, pois não há uma resposta certa, inequívoca instantânea, partindo da autoridade-professor, e em certa medida ele também deve se envolver no processo para tirar daí a informação e criar seu próprio modelo para incorporar em seu arcabouço cognitivo.

Dito isto, nossa sugestão é de que o nível da operação cognitiva, mesmo em conteúdos elementares da disciplina, é substancialmente mais elevado do que simplesmente ouvir um recital bioquímico de nomes, símbolos e consequências.

Assim, a incorporação de atividades que não sejam meramente mecânicas é absolutamente necessária para a manutenção do alto nível cognitivo das operações realizadas. E, para tanto, é imprescindível que atividades acessórias sejam desafiadoras, que envolvam o aluno no trabalho e que não ofereça protocolos estruturados a serem seguidos sem que deles se possa extrair o aprendizado

desejado. Nesse contexto, a inserção de *softwares* educacionais é uma estratégia possível, se esses *softwares* promoverem ou permitirem a interatividade e a resposta a questionamentos.

Não é incomum que o laboratório ou experimentos demonstrativos sejam não mais do que a confirmação do que foi dito na sala de aula. Sem ignorar que haja alguma relevância nessa estratégia em determinados casos, mas elas não cooperam para que o aluno seja autônomo na descoberta e nem que haja qualquer descoberta; afinal de contas, há um protocolo a ser seguido, números a serem coletados para confecção de um relatório que nada mais será do que a confirmação do que foi dito em sala de aula, e que mostrará, no máximo, que o que foi dito é verdade na prática, e ajudar o aluno a organizar informações em um relatório burocrático e que não gere qualquer motivação extrínseca na atividade.

Por outro lado, quando um experimento tem a função de colocar o aluno diante de um problema, e da resolução desse problema necessariamente haver a produção de uma conclusão que é necessária e útil na construção dos conhecimentos vindouros, diversos aspectos positivos aumentam a adesão do aluno ao curso, e sua satisfação pela descoberta. Estratégias dessa natureza, baseadas no prazer da descoberta, na percepção de utilidade e finalidade na tarefa realizada e o sucesso na incorporação desses conceitos encontram farta literatura em vários níveis de escolaridade, tendo origem em Bruner (1960, 1966), e grande apelo para utilização no ensino de ciências.

Desta forma, o aprendizado parte do experimento e chega à teoria, e não vice-versa, levando o aluno também a um aprendizado do método científico, em

confronto com as estratégias que primem pela memorização e que em geral, são pouco significativas (Ausubel, 1968).

Com isso, a utilização de softwares que sejam simuladores, interativos e associados a estratégias que exijam resultados dos alunos, bem como a produção de conhecimento derivado dos resultados das simulações (porque não experimentos virtuais), é uma forma de estímulo ao desenvolvimento desses aspectos.

Além disso, os dados recentes da literatura mostram que ao chamarmos o software produzido neste trabalho de “Simulador” e não de qualquer outro nome, tacitamente induz o aluno a admitir que essa ferramenta não é um ente etéreo, ou um jogo, mas baseado em condições experimentais reais, portanto com correspondência com a realidade. Quer dizer, os alunos são permanentemente bombardeados com informações sobre efeitos ideais, condições ideais, sobre acontecimentos e situações de livro, mas sem correspondência clara com a realidade – e isso perpassa desde pratos teóricos numa destilação até os erros que acontecem numa simples titulação. Assim, quando apresentamos um sistema chamado “Simulador” e não calculador ou idealizador, além das oscilações na medição das proporções das espécies - não ser um número estático, e a ênfase no caráter dinâmico do fenômeno) - estaríamos induzindo o aluno a pensar que, sendo uma situação baseada no experimental, então obviamente tudo o que ali está deve ser mensurável na bancada, portanto, deve ser real. Nossa sugestão encontra respaldo na literatura (Allen, Coole, 2012), e é corroborada pelos dados obtidos nos testes após a utilização do Simulador.

Por fim, e como forma de sumarizar os achados do presente trabalho, enumeramos as principais descobertas, que encerram a presente discussão.

i. Os conceitos alternativos nesse caso podem ter origem na formação anterior, já que os dados mostram que os alunos incorporam bordões corretos, mas sem substância ou correlato cognitivo.

ii. Há forte tendência entre os alunos em simplesmente resolver problemas, ou seja, os alunos não estão engajados com uma atividade reflexiva, crítica ou que permita a aplicação imediata dos seus conhecimentos, quiçá uma abordagem mais profunda dos seus conhecimentos.

iii. Há forte separação dos níveis representacionais, de forma que a natureza dos fenômenos não é clara em suas possibilidades representacionais, dificultando a construção dos conhecimentos para uma parte expressiva dos alunos.

iv. Os alunos entendem EQ como algo que necessariamente deve ter o sentido de “igualdade” ou “equivalência” em acepções diferentes daquelas necessárias para a construção do conhecimento químico.

v. Os dados obtidos sobre a aplicação dos conceitos mostram que a construção do conhecimento em Bioquímica está sendo afetada pelos conceitos alternativos encontrados nos alunos em EQ. Os resultados obtidos no diagnóstico em testes que versavam sobre cinética enzimática, estrutura de proteínas e aminoácidos revelam esse ponto de vista.

vi. A construção de um *software* no formato de um simulador teve um apelo mais profundo, aliado à estratégia adotada de utilizá-lo como uma ferramenta que conduz à teoria, e não o contrário.

6 REFERÊNCIAS¹⁰

Akkus H, Kadayifçi H, Atasoy B, Geban Ö. Effectiveness of Instruction Based on the Constructivist Approach on Understanding Chemical Equilibrium Concepts. *Res Sci Tech Educ*, 2003;21(2):209-227.

Allen M, Coole H. Experimenter confirmation bias and the correction of science misconceptions. *J Sci Teacher Educ*. 2012;23:387-405.

Andretta I, Silva JG, Susin N, Freire SD. Metacognição e aprendizagem: como se relacionam? *Psico*. 2010;41(1):7-13.

Atasoy B, Akkus H, Kadayifci H. The effect of a conceptual change approach on understanding of students' chemical equilibrium concepts. *Res Sci Technol Educ*. 2009;27(3):267-282.

Ausubel DP. 1968. *Educational Psychology: A Cognitive View*. 1968. New York: Holt, Rinehart & Winston.

Ben-Zvi R, Eylon B, Silberstein J. Is a atom of Copper malleable? *J Chem Educ*. 1986;63(1):64-66.

Ben-Zvi R, Eylon B, Silberstein J. Students' visualization of a chemical reaction. *Educ in Chem*. 1987;70(2):117-120.

Bloom BS. *Taxonomy of Educational Objectives*. Allyn and Bacon, Boston, MA. 1956. Copyright (c) 1984 by Pearson Education.

Bruner J. *The Process of Education*, Harvard University Press. 1960.

---

¹⁰ De acordo com a Norma de Vancouver do Manual de Teses USP (2014).

Bruner J. Toward a Theory of Instruction. Harvard University Press. 1966.

Canpolat N, Pinarbası T, Bayrakçeken S, Gebanb O. The conceptual change approach to teaching chemical equilibrium. Res Sci Tech Educ. 2006;24(2):217–223.

Canzian R, Maximiano FA. Princípio de Le Chatelier: o que tem sido apresentado em livros didáticos? Quim Nova na Escola. 2010;32.

Carobin C, Serrano A. Uma revisão das concepções alternativas em Equilíbrio Químico dentro do enfoque dos diferentes níveis de representação. Acta Scientiae. 2007;9(2):131-143.

Cherney ID. The effects of active learning on students' memories for course content. Active Learning Higher Educ. 2008;9:152-171.

Cheung D. The adverse effects of Le Chatelier's Principle on teacher understanding of chemical equilibrium. J Chem Educ. 2009;86(4):514-518.

Cheung D, Ma HJ, Yang J. Teachers misconceptions about the effects of addition of more reactants or products on chemical equilibrium. Int J Sci Math Educ. 2009;7:1111-1133.

Cliff WH. Chemistry Misconceptions Associated with Understanding Calcium and Phosphate Homeostasis. Advan Physiol Edu. 2009;33:323-328.

Coleman EB, Brown AL, Rivkin ID. The effect of instructional explanations on learning from scientific texts. J Learn Sci. 1997;6(4):347-365.

Coley JD, Tanner KD. Common origin of diverse misconceptions: cognitive principles and the development of biology thinking. CBE Life Sci Educ. 2012;11:209-215.

Costa TS, Ornelas DL, Guimarães PIC, Merçon F. A corrosão na abordagem da Cinética. *Quím Nova na Escola*. 2005;22:31-34.

Costa MJ, Galembeck E, Marson GA, Torres BB. A Quick Guide for Computer-Assisted Instruction in Computational Biology and Bioinformatics. *PLoS Comput Biol*. 2008;(4):p.e1000035.

Desjardin SJ. Disorder and chaos: developing and teaching an interdisciplinary course on chemical dynamics. *J Chem Educ*. 2008;85(8):1078-1082.

Duboc MJO. Neurociência: significado e implicações para o processo de aprendizagem. *Evidência*. 2001;7(7):25-32.

Eichler ML, Del Pino JC. Computadores em educação química: equilíbrio químico e princípio de Le Chatelier. *Ciências Humanas e Sociais em Revista (Impresso)*. 2010;32:39-58.

European Higher Education Area. Bologna Declaration, The official Bologna Process website 2007-2010; <http://www.ond.vlaanderen.be/hogeronderwijs/bologna/> acessado em 14/06/2010.

Fabião LS, Duarte MC. Dificuldades de produção e exploração de analogias: um estudo no tema equilíbrio químico com alunos/futuros professores de ciências. *Rev Electronica Enseñaza de las Ciencias*. 2005;4(1):

Gabel D. Modeling with magnets: A unified approach to chemistry problem solving. *Sci Teacher*. 1992;59(3):58-63.

Hamilton S. <http://www.lifescinventory.edu.au/index.html>, acessado em 07/05/2014.

Hestenes D, Wells M, Swackhamer G. Force Concept Inventory. The Physics Teacher. 1992;30:141-158.

Hovardas T, Korfiatis KJ. Word associations as a tool for assessing conceptual change in science education. Learning and Instruction. 2006;16:416-432.

Howitt S, Anderson T, Costa M, Hamilton S, Wright T. A Concept Inventory for Molecular Life Sciences: How will it help your teaching practice? Australian Biochemist. 2008;39:14-17.

Johnstone AH. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. J Comp Ass Learning I. 1991;7(2):75-83.

Justi RS, Gilbert JK. Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. Int J Sci Educ. 2002;24:1273-1292.

Kintsch W. Comprehension: a paradigm for cognition. Cambridge. Cambridge University Press. 1998.

Larkin D. Misconceptions about "misconceptions": preservice secondary science teachers' views on the value and role of student ideas. Sci Educ. 2012;96(5):927-959.

Likert R. A Technique for the Measurement of Attitudes. Arch Psychol. 1932;**140**: 1-55.

Liu TC. Developing Simulation-based computer assisted learning to correct students' statistical misconceptions based on cognitive conflict theory, using "correlation" as an example. *Educational Technol Soc.* 2010;13(2):180-192.

Machado AH, Aragão RMR. Como os alunos concebem o estado de Equilíbrio Químico. *Química Nova na Escola.* 1996;4:18-20.

Mahon BZ, Caramazza A. Concepts and Categories: A Cognitive Neuropsychological Perspective. *Annu Rev Psychol.* 2009;60:27–51.

Marson GA. Um método para o desenvolvimento e avaliação de softwares instrucionais. 2003. 205p. (Doutorado em Bioquímica), Instituto de Química da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Marson GA, Torres BB. Fostering multi-representational levels of chemical concepts: a framework to develop educational software. *J Chem Educ.* 2011;88(12):1616-22.

Medin DL, Lynch EB, Solomon KO. Are there kinds of concepts? *Annu Rev Psychol.* 2000;51:121–147.

Michael J. Misconceptions: what students think they know. *Advan Physiol Educ.* 2002;26:5-6.

Miskalo AK. Verificação do conteúdo de disciplinas de bioquímica por análise e classificação de provas. Dissertação, Mestrado, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, 2010.

Montagna E, Azevedo AMS, Romano C, Ranvaud R. What is transmitted in synaptic transmission? *Adv Physiol Educ.* 2010;34(2), 115-116.

Montagna E, Torres BB, Moulatlet ACB, Marson GA. Análise de aplicativos educacionais sobre equilíbrio químico. *In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências*. 2011, Campinas. Anais do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, 2011.

Mortimer EF. Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências, PP. 23, 2000. Ed. UFMG, Belo Horizonte.

Mortimer EF, Santos WLP. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. *ENSAIO – Pesquisa em Educação em Ciências*. 2002;2(2):105-115.

Moura RT, Neto JES, Rusu VH, Silva JCS, Hora GCA. Simulando o Equilíbrio Químico: uma ferramenta para uso dos professores do ensino médio. XIV Encontro Nacional de Ensino de Química. UFPR. 2008.

Niaz M. Response to contradiction: conflict resolution strategies used by students in solving problems of chemical equilibrium. *J Sci Educ Tech*. 2001;10(2):205-211.

Osborne J. Arguing to learn in science: the role of collaborative, critical discourse. *Science*. 2010;328:463-466.

Özkaya JA. Conceptual difficulties experienced by prospective teachers in electrochemistry. *J Chem Educ*. 2002;79(6):735-738.

Özmen H. The effectiveness of Conceptual Change texts in remediating high school students' alternative conceptions concerning chemical equilibrium. *Asia Pacific Educ Rev*, 2007;8(3), 413-425.

Özmen H. Determination of students' alternative conceptions about chemical equilibrium: a review of research and the case of Turkey. *Chem Educ Res Prac*. 2007;9:225-233.

Raviolo A, Garritz A. Analogias no ensino do Equilíbrio Químico. *Química Nova na Escola*. 2008;27:13-25.

Saglam Y, Karaaslan EH, Ayas A. The impact of contextual factors on the use of students' conceptions. *Int J Sci Math Educ*. 2011;9:1391-1413.

Scatigno AC. Ensino de bioquímica no curso de nutrição em uma instituição de ensino superior da rede particular: diagnósticos e intervenções. 2011. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas (Bioquímica) - Universidade de São Paulo, SP.

Sears DW, Thompson SE, Saxon R. Reversible ligand binding reactions: why do biochemistry students have trouble connecting the dots. *Biochem Mol Biol Educ*. 2007;35(2):105–118.

Smith MK, Wood WB, Adams WK, Wieman C, Knight JK, Guild N, Su TT. Why peer discussion improves student performance on in-class concept questions. *Science*. 2009;323:122-124.

Soares MHFB, Okumura F, Cavalheiro ETG. Proposta de um Jogo Didático para Ensino do conceito de Equilíbrio Químico. *Química Nova na Escola*. 2003;18:13-17.

Spinillo AG, Hodges LVSD. Análise de Erros e Compreensão de Textos: Comparações entre Diferentes Situações de Leitura. *Psic Teor e Pesq*. 2012;28(4):381-388.

Tanner KD. Promoting student metacognition. CBE Life Sci Educ. 2012;11:113-120.

Taras M. Summative and formative assessment: perceptions and realities. Active Learning Higher Educ. 2008;9:172-192.

Tibell LAE, Rundgren CJ. Educational Challenges of Molecular Life Science: Characteristics and Implications for Education and Research. CBE—Life Sci Educ. 2010;9:25–33.

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

APÊNDICE I – ROTEIRO DO SIMULADOR VIRTUAL DE ELETROFORESE

Simulador de eletroforese

O roteiro para utilização do *software* está dividido em quatro partes.

Parte I. Comportamento de ácidos fracos.

Parte II. Comportamento de um aminoácido com cadeia lateral não ionizável.

Parte III. Comportamento de aminoácidos com cadeia lateral ionizável.

Parte IV. Comportamento de peptídios.

Parte I. Comportamento de ácidos fracos.

A. Selecione na lista de compostos o Ácido p-nitro-fenil-propanoico, fixe o pH em 4,48 e faça a simulação da eletroforese.

1. Qual foi o resultado obtido na eletroforese? Qual foi a velocidade de migração?

2. Qual é a proporção das espécies presentes no meio no início e no final da simulação?

3. Na representação microscópica, observe apenas um ponto. Esse ponto, que representa uma molécula, mantém sempre a mesma carga? Por que as espécies mudam seu estado de ionização mesmo sem a aplicação de voltagem?

4. Todas as moléculas do sistema movimentam-se na eletroforese?

5. A proporção das espécies do sistema será mudada se houver alteração do pH do meio. Verdadeiro ou Falso?

6. A resposta à questão anterior tem confirmação pela Equação de Henderson-Hasselbalch?

B. Reinicie o experimento e interrompa-o quando a mancha estiver aproximadamente na metade do caminho.

7. Uma vez que a corrida foi interrompida, é possível retomá-la? Qual é a velocidade em relação ao início do experimento?

8. Houve mudança no comportamento microscópico e macroscópico da amostra na situação atual em relação ao experimento anterior?

9. Qual a proporção de espécies no pH em que foi realizado o experimento? Escreva as estruturas dessas espécies.

10. Por que aparece apenas uma mancha na eletroforese se há duas espécies diferentes, uma com carga elétrica e outra sem carga?

11. É possível separar as duas espécies?

C. Altere o pH do meio para 5,48 e faça a simulação da eletroforese.

12. Qual foi o resultado obtido na eletroforese? Qual foi a velocidade de migração? Compare essa velocidade com a da eletroforese realizada em pH=4,48.

13. Qual é a proporção das espécies presentes no meio no início e no final da simulação? Qual a relação entre as proporções das espécies no pH=4,48 e no pH 5,48 com as velocidades observadas nos dois casos?

14. Verifique as proporções das espécies do sistema em pH 2,48; 3,48; 4,48; 5,48 e 6,48.

15. Que previsão pode ser feita quanto à velocidade de migração em pH 6,48; 8,48 e 10,48?

16. Qual a relação entre a velocidade de migração da amostra e os valores de pH?

17. Em qual(quais) valores de pH o sistema se encontra em equilíbrio?

Parte II. Comportamento de um aminoácido

com cadeia lateral não ionizável.

A. Na lista de aminoácidos, escolha a Glicina (Gly), ajuste o pH do meio para 2,35 e faça a simulação da eletroforese.

1. Qual foi o resultado obtido na eletroforese? Em direção a que polo a amostra migrou? Qual foi a velocidade de migração?

2. Qual é a proporção das espécies presentes no meio no início e no final da simulação? Escreva as estruturas dessas espécies.

3. Existe algum valor de pH no qual ocorra uma espécie sem nenhuma carga?

4. Na representação microscópica, observe apenas um ponto. Esse ponto, que representa uma molécula, mantém sempre a mesma carga?

B. Ajuste o pH para 9,78 e faça a simulação da eletroforese.

5. Qual a diferença entre o resultado deste experimento e o do experimento anterior?

C. Repita o experimento em uma faixa de pH com variação de uma unidade de pH.

6. Há algum valor de pH em que não haja nenhuma carga nas espécies?

D. Faça experimentos com o objetivo de determinar um valor de pH no qual não há nenhuma migração.

7. Qual foi o valor encontrado? É possível encontrar esse valor teoricamente?

E. Prepare agora um sistema com a Alanina (Ala), e repita os passos 1, 3, 5 e 6

8. Houve diferenças no comportamento dos sistemas? Quais?

F. Prepare agora um sistema com Alanina (Ala) e Glicina (Gly) e repita os passos 1, 3, 5 e 6.

9. Qual foi o resultado?

G. Prepare novamente o sistema anterior e adicione Glutamato (Glu) à amostra. Repita os passos 1, 3, 5 e 6.

10. O que foi observado agora? Que hipótese pode explicar os resultados observados?

Parte III. Comportamento de aminoácidos com cadeia lateral ionizável.

A. Prepare um experimento com o Glutamato (Glu) em pH=2,1

1. Repita os passos da Parte II de A1 até A4.
2. Por que o pI é tão baixo?

B. Prepare um experimento com a Arginina (Arg) em pH=10,74

1. Repita os passos da Parte II de A1 até A4.
2. Por que o pI é tão baixo?
3. Por que há um pI entre pKa e pK_R e não na média global dos pKas, tanto para Glu como para Arg?

Parte IV. Comportamento de peptídios.

A. Na lista de amostras, monte um peptídio que seja formado por duas Glicinas (Gly-Gly), ajuste o pH do meio para 2,35 e faça a simulação da eletroforese.

1. Qual foi o resultado obtido na eletroforese? Em direção a que polo a amostra migrou? Qual foi a velocidade de migração?
2. Qual é a proporção das espécies presentes no meio no início e no final da simulação? Escreva as estruturas dessas espécies.
3. Existe algum valor de pH no qual ocorra uma espécie sem nenhuma carga?
4. Na representação microscópica, observe apenas um ponto. Esse ponto, que representa uma molécula, mantém sempre a mesma carga?

5. Existe diferença entre o comportamento dessa amostra o observado na Parte II, item A? Por quê? Justifique com a estrutura do peptídio.

6. Qual seria a diferença se o peptídio agora fosse mudado para Gly-Leu? E para um peptídio Leu-Ile-Gly? Por que se comportam como se fossem aminoácidos isolados?

A. Na lista de amostras, monte um peptídio que seja formado por uma Glicina (Gly) e um Glutamato (Glu), ajuste o pH do meio para 2,1 e faça a simulação da eletroforese.

1. Qual a diferença entre o resultado dessa eletroforese e o observado na Parte III A? Qual a explicação para esse fato?

2. Repita agora o experimento proposto com os seguintes peptídios:

a. Glu-Glu.

b. Gly-Glu.

c. Glu-Gly-Glu

Pergunta-se qual a seria a diferença nos resultados em relação ao Glu?

3. Haveria diferença no comportamento eletroforético se o peptídio agora fosse Glu-Arg? E se fosse Glu-Val-Arg?

4. Haveria diferença se o peptídio, nesse mesmo pH agora fosse Arg-Val-Glu? Por que se comportam de forma diferente se possuem os mesmos aminoácidos em sua composição?

5. Diante dos resultados obtidos, o que define o comportamento eletroforético de um peptídio?

APÊNDICE II – CD-ROM

O CD-ROM anexado contém o código fonte do Simulador Virtual de Eletroforese e pode ser aberto pelo browser.