

Analogias no Ensino do Equilíbrio Químico

Andrés Raviolo e Andoni Garritz

Os resultados de uma revisão bibliográfica sobre analogias utilizadas para ensinar equilíbrio químico são apresentados. Os autores pretendem com isso contribuir para o trabalho de professores e alunos reunindo a literatura dispersa. Muitas das analogias publicadas são desconhecidas dos professores pois elas têm aparecido em uma grande dispersão de tempo em revistas internacionais. Essas analogias foram classificadas em cinco grupos e são apresentados os aspectos que representam o fenômeno, as possíveis dificuldades de aprendizagem e as concepções alternativas que podem promover. Além disso, são examinados sua utilização em aula e pelos cientistas, sua presença em livros e a analogia criada pelos alunos.

► equilíbrio químico, analogias, pesquisa bibliográfica, Ensino Superior ◀

Recebido em 29/10/2007; aceito em 30/10/2007

Parece que não existe tópico na química introdutória universitária que apresente mais dificuldades para os estudantes do que o do equilíbrio químico.

Depois de tentar durante mais de 30 anos dar respostas claras às suas perguntas, cheguei a obter grande simpatia deles, dando-me conta de que é inerentemente um tema difícil.
(Hildebrand, 1946, p. 589)

Os últimos 20 anos têm presenciado um crescente interesse no ensino e na aprendizagem da ciência pelo uso de modelos e de explicações químicas frequentemente usando modelos analógicos aceitos por cientistas, professores ou autores de textos.
(Harrison e De Jong, 2005, p. 1135)

Em química, assim como em todas as ciências e na vida cotidiana, são empregados analogias, metáforas ou modelos para conseguir explicar um fenômeno que não é observável. Entretanto, Treagust, Duit e Nieswandt (2000) dizem

que a literatura sobre a utilização de analogias no ensino e na aprendizagem da ciência é ambivalente com relação à validade ou invalidade da apresentação de analogias singelas ou múltiplas como a melhor forma de ensinar (Goswami, 1993; Zook, 1991). A visão de que a posse de múltiplas analogias é própria dos peritos foi defendida por Grosslight e col. (1991), mas Garnett e Treagust (1992) mostraram que alguns estudantes preferem que não lhes sejam apresentadas mais de uma analogia em apenas uma ocasião. Nos dias de hoje, parece haver um consenso no quão apropriado resulta ser a exposição ante os alunos de um conjunto múltiplo de analogias, inclusive já se tem apresentado uma validação desse fato por meio de entrevistas com os estudantes (Harrison e De Jong, 2005).

A natureza abstrata do conceito equilíbrio químico é ressaltada por muitos autores que estudaram as dificuldades em sua aprendizagem. Entre eles, Johnstone, Macdonald e Webb (1977) mencionam que os aspectos mais abstratos desse tema são: sua natureza dinâmica, diferen-

ciar entre situações de não-equilíbrio e situações de equilíbrio, a manipulação mental do princípio de Le Chatelier e tratar com considerações sobre a energia. Por isso, as analogias foram muito utilizadas como apoio no ensino do equilíbrio químico (Van Driel e Gräber, 2002).

O raciocínio analógico é uma atividade de comparação de estruturas e/ou funções entre dois domínios: um conhecido e um novo ou parcialmente novo de conhecimento. As analogias compreendem: (a) uma determinada questão desconhecida ou não familiar (objetivo, objeto); (b) uma questão conhecida (análogo, base, fonte) que resulta familiar para o sujeito que tenta aprender; e (c) um conjunto de relações que se estabelecem entre (a) e (b) ou uma série de processos de correspondência entre os componentes de ambos. Além disso, existem atributos não compartilhados que constituem as limitações da analogia. Harrison e De Jong (2005) mostram que

[...] o análogo (ou fonte) refere-se a estruturas ou processos em um ente cotidiano

que é mapeado sobre estruturas ou processos do conceito científico objetivo. Os análogos são representações simplificadas ou exageradas do objetivo que enfatizam as semelhanças análogo-objetivas de forma que a indagação científica seja estimulada. (p. 1136)

Como será visto para o equilíbrio químico, o análogo pode existir na mente da pessoa ou ser apresentado com essa intenção por outros como, por exemplo, por meio de: um jogo, um experimento, uma história, um modelo, um dispositivo etc.

Embora as analogias contribuam para o ensino ajudando a visualização de conceitos abstratos e contribuindo com elementos motivacionais às aulas, podem apresentar seu lado negativo como também ser a geração de compreensões erradas: (1) a analogia nela mesma é assumida como o objeto de estudo; (2) a atribuição incorreta de atributos do análogo ao objetivo; (3) a retenção apenas de aspectos superficiais ou pitorescos; ou (4) a não abstração das correspondências entre os domínios.

Em 1933, Lewis apresenta uma discussão das analogias, utilizadas em suas aulas, para os temas estrutura da matéria, catálise, equilíbrio químico e produto de solubilidade, e afirma:

[...] deveriam usar analogias, porque: muitos estudantes, em cursos introdutórios, não estão preparados apropriadamente para uma apresentação convencional da temática, e dado que a química é uma ciência em crescimento, é aconselhável o uso de analogias até que uma apresentação matemática mais rigorosa possa ser absorvida pelos estudantes. (p. 627)

Recentemente, Piquette e Heikkinen (2005) falam das analogias como uma das quatro estratégias instrucionais usualmente utilizadas para tentar incorporar as condições necessárias para a mudança conceitual: “os grupos cooperativos, os textos de refutação, as analogias e

os modelos passo a passo, como o ciclo da aprendizagem”. Esses autores encontram em boa parte de seus 52 acadêmicos entrevistados a idéia de que as analogias podem ser enfocadas sobre as quatro premissas da mudança conceitual de Posner *et al.* (1982): insatisfação, inteligibilidade, plausibilidade e proveito, pelo qual Piquette e Heikkinen indicam que “o uso de analogias deveria ser considerado uma aproximação valiosa”. Foi a única solução apoiada na literatura que foi identificada como útil pelos professores participantes na sua investigação.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão exaustiva das analogias propostas para apresentar o equilíbrio químico e discutir aspectos que fazem a sua aprendizagem e seu ensino.

Analogias propostas para o equilíbrio químico

As analogias foram muito utilizadas como apoio no ensino do equilíbrio químico e, até hoje, continuam sendo apresentadas, em revistas especializadas, propostas de analogias com uma grande diversidade de formatos como, por exemplo, a atualização da analogia do jogo com moedas que são deslocadas de uma pilha à outra (Bartholow, 2006). São encontrados exemplos precusores como a analogia hidráulica, sugerida por Rakestraw em 1926 ou a de Karns, em 1927.

Nessa revisão das analogias sugeridas para o ensino do equilíbrio químico, são incluídas analogias propostas em: (a) revistas (especialmente as aparecidas no *Journal of Chemical Education*); (b) os projetos Nuffield (1967), CBA (1964) e Chem. Study (1963); e (c) também em alguns livros de texto, o mais recente é ACS (2005).

Uma classificação dessas analogias é mostrada a seguir (Tabela 1), na qual estão incorporados os aspectos do equilíbrio químico que cobre a analogia, as possíveis dificuldades ou concepções alternativas que promovem e as referências bibliográficas mais representativas. Esta tabela foi inspirada, inicialmente, na criada por Pereira (1990).

As analogias são classificadas em cinco categorias:

- (1) análogos familiares;
- (2) jogos;
- (3) experimentos;
- (4) fluxo ou transferência de fluidos; e
- (5) máquinas.

Um antecedente de classificação de analogias para o equilíbrio químico e cinética química é encontrado em Wood (1975). Esse autor classifica os “modelos para a instrução” em: hidrodinâmicos, movimentos de esferas, verbais e matemáticos, computacional analógico, computacional digital e Monte Carlo. Os três primeiros coincidem com as categorias 4, 5 e 1 da classificação que é utilizada aqui.

Entre os aspectos do equilíbrio químico ilustrados pelas analogias na tabela, são destacados os seguintes:

- aspecto dinâmico;
- igualdade de velocidades no equilíbrio;
- reversibilidade;
- dedução de uma constante;
- alteração do equilíbrio (e/ou aplicação do princípio de Le Chatelier); e
- catalisador em um sistema em equilíbrio.

Da mesma forma, entre as confusões e concepções alternativas que podem ser transmitidas pelas analogias sobre o equilíbrio químico, destacam-se:

- a. a compartimentação do equilíbrio: os reagentes e os produtos se encontram em compartimentos separados; os reagentes geralmente à esquerda e os produtos à direita (ex. Johnstone, Macdonald e Webb, 1977; Gorodetsky e Gussarsky, 1986).
- b. a relação difícil com o nível molecular: a analogia não proporciona uma imagem microscópica, em nível atômico, molecular ou iônico (Bradley e col., 1990; Nakhleh, 1992).
- c. se são geradas confusões com relação à cinética química: não ilustra o modelo de colisões entre partículas, não transmite a idéia de que é necessário acumular certa quantidade de produto para que

Tabela 1: Principais analogias utilizadas no ensino do equilíbrio químico.

	Analogias	Aspectos ilustrados	Dificuldades	Referências
		. aspecto dinâmico . vel. iguais equilíbrio . reversibilidade . dedução de constante . alteração do equilíbrio . catalisador e equilíbrio	. visão compartimentada . confusão nível micro . confusões em cinética . [produtos] = [reagentes] . sistema não fechado . quantidade-concentração . humanização	
Análogos familiares	1. Casais de dança 2. Casais de dança 3. Bolas de golfe numa caminhonete 4. Dois grupos lançando-se bolas/maças 5. Pessoa correndo em uma cinta 6. Escada mecânica/nadar contra a corrente 7. Peixes entre dois aquários 8. Peixes entre dois aquários 9. Abelhas numa colméia 10. Dois operários com pás 11. Pintor e despintor 12. Malabarista 13. Pessoas (cidades, centro esportivo etc.)	√ √ √ - √ √ √ - √ √ √ - √ √ √ - - - √ √ √ - - - √ √ √ - √ - - √ - √ - √ √ √ √ - - - √ √ √ - √ √ √ √ √ - - - √ - √ - - -	- - - - - √ - - - - - √ √ √ √ √ - - √ √ √ - - - - √ √ - - - √ √ √ - - - √ - √ √ - - √ √ - √ - - - √ - √ √ - √ - √ √ √ √ - - √ - √ √ - - - √ √ √ √ √ - -	Caldwell (1932), Hildebrandt (1946), Olney (1988) Battino (1975), Baisley (1978) Chem. Study (1963) Hamby (1975), Dickerson e Geis (1981) Mickey (1980) Hill e Holman (1978), Chem. Study (1963) Chem. Study (1963), Olney (1988) Russell (1988) Olney (1988) Riley (1984) Garritz (1997) Umiland e Bellana (2000) Lewis (1933), Licata (1988), Thiele (1990), Chang (1999)
Jogos	14. Blocos de madeira 15. Fichas de papel 16. Esferas 17. Clipes 18. Feijões 19. Cartas, fósforos, cubos, moedas	- - √ √ √ - √ √ √ - - - √ √ √ √ √ - √ √ √ - √ - √ √ √ - √ - √ √ √ √ √ -	√ √ √ - - √ √ - √ - - - - - √ - - - - - √ - - - - - - √ √ - √ - - √ - - -	Slabaugh (1949) Lees (1987) Cullen (1989) Desser (1996) Dickinson e Erhardt (1991) Marzacco (1993), Huddle e Ncube (1994), Ncube e Huddle (1994), Wilson (1998), Quílez e col. (2003), Edmonson e Lewis (1999), Huddle e col. (2000), Harrison e Buckley (2000), Hanson (2003), Bartholow (2006)
Experimentos	20. Mudança de fase 21. Solubilidade 22. Fio elástico	√ √ √ - - - - - √ - - - - - √ - √ -	√ - - - - √ √ - √ - - - - √ √ - - -	Nuffield (1967), Thiele (1990), Caruso e col. (1997) Chem. Study (1963), CBA (1964), Lees (1987) Balckwill (1976), Smith (1977)
Fluxo	23. Copos ou recipientes pequenos 24. Provetas e pipetas 25. Sifão, equilíbrio hidrostático 26. Bombas 27. Bombas 28. Fluxo de gás entre seringas	√ √ √ - - - √ √ √ √ √ √ - - √ - √ - √ √ √ - - - √ √ √ - √ √ - - √ - √ -	√ √ √ - - √ √ √ √ - - √ √ √ √ √ - √	Sorum (1948), Kauffman (1959), Carmody (1960), Hugdahl (1976), Martin (1976), Dunn (1980), Laurita (1990), Garritz e Chamizo (1994), ACS (2005) Russell (1988) Hansen (1984), Donati; Jubert, Andrade Gamboa. (1992) Rakestraw (1926) Karns (1927), Weigang (1962) Thomson (1976)
Máquinas	29. Carrinho movido a água 30. Movimento de esferas por fluxo de ar 31. Movimento de esferas por pazinhas 32. Movimento de esferas por vibrador 33. Sobe e desce 34. Balança com tubos de ensaio 35. Sistema de polias 36. Leis do equilíbrio mecânico	- - √ - √ - √ √ √ - √ √ √ √ √ √ √ - √ √ √ - - - - - - √ √ - - - √ √ √ - - - √ - - -	√ √ √ √ √ √ √ - - - - - √ - - - - - √ - - √ - - - √ √ √ - √ √ √ √ √ √ - √ - √ - - - -	Tucker (1958) Dainton e Fisher (1969), Sawyer e Martens (1992), Nash e Smith (1995) Alden e Schmuckler (1972), Hauptmann e Menger (1978), Rämme (1995) Fiekers e Gibson (1945) Russell (1988) MacDonald (1973) Thomson (1976) Canagaratna e Selvaratnam (1970)

- comece a reação inversa nem favorece a imagem pendular do equilíbrio (uma vez finalizada a reação direta, começa a reação inversa e assim sucessivamente) (ex. Bergquist e Heikkinen, 1990).
- a idéia de que as concentrações dos reagentes é igual às dos produtos no equilíbrio químico (ex. Hackling e Garnett, 1985; Huddle e Pillay, 1996).
 - se o sistema considerado não é fechado (ex. Furió e Ortiz, 1983; Bradley e col., 1990).
 - se são geradas confusões entre quantidade e concentração (ex. Wheeler e Kass, 1978; Furió e Ortiz, 1983).
 - se fornece imagens antropomórficas (humanização dos objetos) ou animalistas (por exemplo, ao utilizar animais) (ex. Astolfi, 1994).

As imagens, relacionadas ao fenômeno do equilíbrio químico, que constroem os alunos a partir daquilo que o ensino apresenta (proposições, desenhos, analogias) e das teorias implícitas prévias, foram abordadas recentemente por Raviolo (2006) a partir da perspectiva dos modelos mentais.

Em “aspecto dinâmico”, têm sido considerados apenas os casos que mostram que as reações no equilíbrio continuam ocorrendo em ambos os sentidos simultaneamente, mantendo a composição do sistema constante. O dinamismo em nível molecular, com a ruptura e formação de ligações no equilíbrio de forma simultânea, é observado em poucas analogias como, por exemplo, os casais dançando (Hildebrandt, 1948) ou o jogo com cliques (Desser, 1996).

Cabe esclarecer que muitos autores não chamam suas propostas de “analogias”, se bem que é encontrada uma grande diversidade terminológica, na qual são usados como sinônimos “analogia” e “modelo”, além de outros termos. Aqui foi adotado o termo analogia considerando a função que cumprem essas propostas como ajudas à visualização de conceitos por meio da comparação analógica entre um domínio conhecido (ou que se dá a conhecer primeiramente mediante

uma atividade) e o domínio conceitual. Existe uma tendência a usar o termo “modelo” (“modelo físico” ou “modelo mecânico”) quando são incluídos materiais concretos. Como, por exemplo, a analogia de transvasar água de um recipiente a outro foi chamada de “experimento” por Sorum (1948), “demonstração” por Hugdahl (1976), “modelo físico” por Hansen (1984), “modelo” por Pereira (1990), “modelo mecânico” por Laurita (1990), “símile” por Garriz e Chamizo (1994) e “analogia mecânica” por Garriz (1997).

Foram analisados 73 artigos ou textos dos quais foram extraídas 36 propostas de analogias para o equilíbrio químico que, por sua vez, foram classificadas nos 5 grupos já mencionados. Na Tabela 2, são apresentadas em percentagens, para o total de 36 propostas de analogias, os aspectos que estas abordam e as concepções alternativas que elas promovem.

A seguir, são apresentados alguns exemplos para cada uma das cinco categorias propostas.

1. A utilização de análogos familiares

Uma das analogias mais populares é a “escola de dança” (Caldwell, 1932; Hildebrandt, 1946). Essa analogia é discutida nos trabalhos de Thiele e Treagust, (1994a; b). Nessa última referência, é explicado que certo número de estudantes de ambos os sexos se encontra no ginásio, todos

eles cegos devido à colocação de faixas nos olhos; os meninos levam um corte de cabelo muito pequeno e as meninas um rabo, de tal forma que tocar a cabeça é uma forma de conhecer o sexo da pessoa que é encontrada. Quando uma pessoa do outro sexo é encontrada, quem a encontrou terá que levá-la ao quarto “de compromisso”. Ao serem reunidos, ocorre a reação química e ficam unidos, dançando. Quer dizer que quanto mais atividades tenham os estudantes, maior será o incremento do número de “colisões” entre eles, o que é semelhante a incrementar a energia cinética das partículas, quer dizer, a temperatura e, conseqüentemente, a rapidez da reação.

Imediatamente o raciocínio na analogia é incrementado, dizendo aos estudantes que há um número máximo de casais que podem ficar no quarto “de compromisso” e que somente pode entrar outro casal quando algum dos existentes seja liberado (é introduzido então o tema da reação inversa e o equilíbrio, com um número fixo de casais unidos). A versão elaborada da “escola de dança” é precisamente essa, em que o professor pergunta aos estudantes se ambas as reações (a direta e a inversa) podem ocorrer simultaneamente. Então apresenta a condição de equilíbrio da analogia: que a velocidade de formação dos casais é igualada à da dissociação destes.

Tabela 2: Percentagens resultantes da análise de analogias sobre o equilíbrio químico (total 36).

Aspectos abordados no equilíbrio químico:	equilíbrio dinâmico	69
	velocidades iguais	67
	reversibilidade	94
	dedução constante	19
	perturbação do equilíbrio	56
	catalisador	17
Dificuldades ou concepções alternativas que promovem:	visão compartimentada	72
	dificuldade em nível molecular	61
	confusões em cinética	75
	[reagentes] = [produtos]	33
	sistema não fechado	14
	quantidade = concentração	39
	antropomorfismo	14

Outra versão da analogia da “escola de dança”, apresentada por Baisley (1978), consiste em casais dançando na pista e pessoas sentadas ao redor da pista. Essa analogia parte, por exemplo, de uma situação inicial na qual todos estão sentados e pressupõe que a cada minuto 30% de casais é formado para dançar ($k_f = 0,30$) enquanto que 10% abandona a pista ($k_r = 0,10$). Uma vez alcançado o “equilíbrio”, o número de casais dançando permanece constante, embora os integrantes desses casais vão rodando com os que se encontram sentados.

Essa analogia dos casais dançando foi usada também por Last (1983), para ilustrar conceitos de estequiometria como o do reagente limitante, e por DeLorenzo (1977) em problemas de equilíbrio para achar, por exemplo, a percentagem de dissociação de um ácido fraco. Como já foi mencionado, essa analogia é uma das poucas que ilustra o aspecto dinâmico do equilíbrio químico em nível atômico com a redistribuição de átomos nas moléculas.

Caldwell, em 1932, falou de uma grande variedade de analogias utilizadas pelos professores para ensinar o equilíbrio químico e sua natureza dinâmica, entre elas a da “escola de dança” sem a presença do “quarto de compromisso”, mas com outras variedades relevantes. Também cita, por exemplo, a dos “praticantes de cavalaria”, que entram em um terreno fechado para praticar montar e desmontar seus cavalos. Quando a velocidade da subida é igual a da desmonta, os estudantes compreendem muito bem que deve haver um número constante de cavaleiros montados.

Uma das analogias que teve mais difusão, a partir do filme de Chem. Study (1963), foi a do “movimento de peixes entre dois aquários”. Essa analogia representa muito bem o aspecto dinâmico do equilíbrio e ilustra o método de marcação radioativa de uma das espécies. Russell (1988) comenta que dado que os dois aquários apresentados são de igual tamanho e o equilíbrio é alcançado quando há aproximadamente igual número de peixes em cada um, essa analogia contribui para que os estudantes concluam de forma errada que no equilíbrio a quantidade de produtos e de reagentes é a mesma. Então propõe modificar essa analogia desenhando um recipiente maior que o outro e apresentá-la diretamente no quadro negro prescindindo o filme. De qualquer forma, essa analogia contribui para a imagem de que reagentes e produtos se encontram em diferentes recipientes.

Uma analogia similar à sugerida por Hambly (1975), que se trata de dois grupos de pessoas que se lançam bolas, é a analogia da “guerra de maçãs” (Dickerson e Geis, 1991). Nesta, dois vizinhos lançam maçãs mutuamente por cima da cerca que separa os dois jardins. A diferente agilidade das pessoas, que representa a constante de velocidade k , leva a que sejam acumuladas diferentes quantidades de maçãs em cada jardim (concentrações). Depois de um tempo, embora ambos continuem lançando maçãs, a quantidade de maçãs de cada lado permanece constante.

Outra analogia, com movimentos de operários (Figura 1), refere-se a

duas pessoas, uma de cada lado de uma parede, transpassando ao outro lado areia com uma pá (Riley, 1984).

Chang (1999), para ilustrar o aspecto dinâmico do equilíbrio, utiliza a analogia do centro de esqui repleto de pessoas, onde o número de pessoas que sobe pelo teleférico é igual ao número de pessoas que desce, motivo pelo qual não ocorre uma mudança na quantidade de pessoas que se encontra nas pistas. Outro texto universitário (Umland e Bellana, 2000) apresenta o equilíbrio dinâmico como análogo a um malabarista, no qual a velocidade de lançamento ao ar dos objetos é igual à velocidade de retorno destes às mãos.

Na analogia do pintor e do “despintor” (Garritz, 1997), o comprimento da linha da estrada pintada é o análogo da concentração dos produtos da reação, quando começa desde os reagentes (ver a legenda da Figura 2 para entender a analogia).

Pensando nessa analogia, os estudantes aceitam que o equilíbrio é um processo dinâmico e que o final da história ocorre no momento em que as velocidades de pintado e despintado são igualadas, o que ocorre a uma distância ao redor da metade da estrada, cujo comprimento exato depende da velocidade de caminhada do pintor e do despintor, e sua eficiência em pintar ou despintar certo número de metros cada vez que “atacam” a linha. Se o pintor e o despintor têm a mesma velocidade e habilidade, a linha deixa de crescer na metade do caminho entre os dois povos. No entanto, se o pintor é mais eficaz que o despintor (o qual resulta o lógico) a linha chega além da

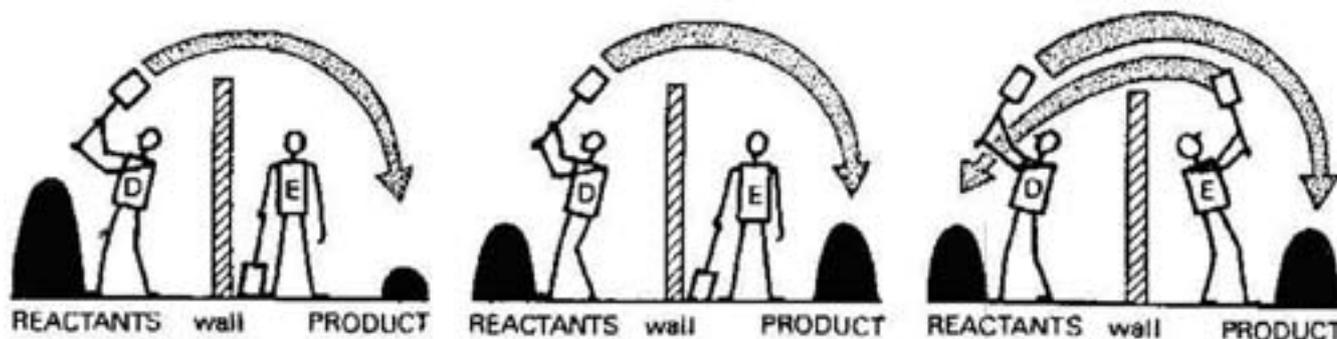


Figura 1: Exemplo de analogia proposta por Riley (1984).



Figura 2: Um dos habitantes de Pinalândia decide pintar a linha da estrada de 100 metros que conecta o seu povoado com o de Despinalândia, o povoado dos peritos removedores de pintura. O desajeitado pintor começa a linha, mas deixa a lata com a pintura no seu povoado, no lugar onde começa a linha. Por causa disso, cada vez que a broxa seca, ele deve voltar atrás, até a lata, para encharcá-la. Então volta para a linha e continua pintando. Enquanto isso, um despintor, do outro povoado, pega uma esponja com removedor de pintura, caminha até o extremo da linha recém-pintada e começa a removê-la, desfazendo parcialmente o trabalho do pintor. Este despintor é tão desajeitado quanto o pintor, pois cada vez que o removedor acaba, ele deve voltar para seu povoado para molhar novamente sua esponja, para voltar para o extremo da linha e seguir removendo a pintura. Qual é o final da história? Como muda a distância da linha pintada com o tempo?

metade. A Figura 3 apresenta a distância conforme o processo avança nas condições citadas de velocidade ao caminhar e conforme a eficiência do pintor e do despintor.

2. A utilização de jogos como analogias

Desser (1996) utiliza um jogo com cliques como simulação para ilustrar o equilíbrio químico. O jogo consiste em montar e desmontar “moléculas”

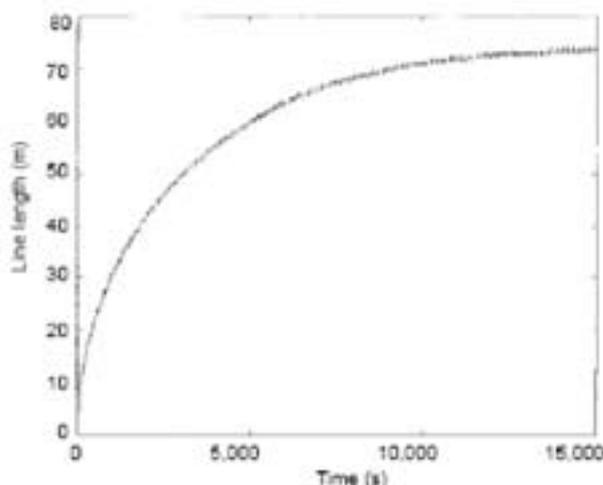


Figura 3: Comprimento da linha pintada quando a velocidade de caminhada do pintor é de 1 m/s e a do despintor 0.7 m/s. O pintor consegue pintar 1 m de linha com a tinta que pode absorver sua broxa, enquanto que o despintor pode remover unicamente 0.5 m cada vez. O ponto de equilíbrio é alcançado a 74 m de Pinalândia.

formadas pela união de um clipe grande com um pequeno (“átomos”). Cada uma dessas tarefas simultâneas é realizada por um aluno com os olhos enfaixados para garantir que essas ações sejam executadas ao azar. Uma caixa com o mesmo número de cliques é dada a diferentes grupos de alunos, mas com diferentes proporções de moléculas já formadas. Alunos auxiliares registram a composição do sistema a cada 30 segundos. A simulação inclui também a perturbação do equilíbrio alcançado, com a adição do mesmo número de cliques em alguma de suas formas (pequenos, grandes ou conectados).

No jogo *Egame* apresentado por Edmonson e Lewis (1999), participam dois estudantes. Um deles recebe 20 cubos (de açúcar), cada um destes tem uma face vermelha com um X e uma azul com um Y. Esse estudante que recebeu 20 cubos é designado como o guardião da coleção de reagentes, R. O outro estudante, que inicialmente tem 0 (zero) cubos, é o guardião da coleção de produtos, P. Os cubos na coleção R são lançados e aqueles cubos que mostrarem uma face marcada de azul ou de vermelho são transferidos à coleção P. Depois do primeiro lançamento, ambas coleções, R e P, são lançadas simultaneamente. Novamente, os cubos de R que mostrarem uma face vermelha ou azul são transferidos à coleção P. Entretanto, somente os cubos da coleção P que mostrarem uma face vermelha depois do lançamento são novamente separados e transferidos à coleção R. Depois de cada lançamento, é registrado tanto o número do lançamento quanto o número de cubos que ficam nas coleções P e R. O processo continua até serem feitos oito lançamentos e é repetido por completo umas dez vezes. Dessa forma, são obtidos gráficos análogos à variação das concentrações no tempo para a aproximação do equilíbrio. Essa simulação pode ser feita pelo computador se for escolhido um número aleatório de 1 a 6 para cada lançamento do cubo e o número 1 como o resultado da queda com a face pintada de vermelho e o 2 como a de azul.

No oitavo lançamento, o número de cubos com ambos os estudantes corresponde ao “de equilíbrio”, P_{eq} e R_{eq} , no qual $P_{eq} + R_{eq} = 20$. As velocidades nesse momento são de R para P, $k_f R_{eq}$, em que k_f deve apresentar uma tendência de 2/6 depois de um bom tempo, pois duas faces dos cubos são reagentes e trocam para a coleção P; e de P para R, $k_r P_{eq}$, em que k_r deve tender por volta de 1/6, pois somente muda para R a face vermelha. Igualando ambas as velocidades, temos: $k_f R_{eq} = k_r P_{eq}$. Com base nisso, pode ser definida a constante de equilíbrio K como o quociente k_f/k_r , que tende a ser 2 estatisticamente. Quando a constante K é igual a 2, $K = 2 = P_{eq}/R_{eq} = P_{eq}/(20 - P_{eq})$, observa-se que P_{eq} tende a $40/3 = 13.33$ e R_{eq} a $20/3 = 6.67$.

Um resultado típico seria o da Figura 4.

Esse tipo de jogo já tinha sido proposto anteriormente, por exemplo, por Wilson (1998) e foi complementado e variado em diversas ocasiões (Moog e Farrel, 2002; Paiva, Gil e Correia, 2003). Recentemente foi resgatado por Bartholow (2006). Nessa última versão, são necessárias 48 moedas, lápis, papel e uma calculadora. Durante cada rodada, serão movidas moedas da coluna R (reagentes) à coluna P (produtos) e da coluna P à coluna R. Esses movimentos são feitos quando as colunas alcançam o equilíbrio e o número de moedas em

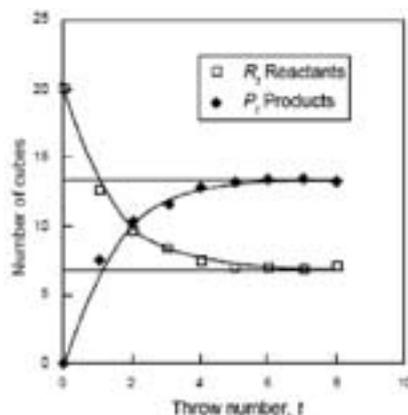


Figura 4: Número de cubos nas coleções de P e R ao longo de oito lançamentos. São mostrados os resultados limite do número de cubos, próximos a 13 e 7.

cada coluna já não é modificado. As moedas não podem ser divididas de tal forma que se algum cálculo resulta uma fração de moeda, este deve ser arredondado para que sempre seja movido um número inteiro de moedas. Para tal, os seguintes passos serão seguidos:

1. Escreve-se na folha de papel (em outra ocasião, essas constantes de velocidade de reação podem ser trocadas e a analogia repetida):
Constante de velocidade da reação direta $R \rightarrow P$: $k_d = 1/2$
Constante de velocidade da reação inversa $P \rightarrow R$: $k_i = 1/4$
Uma tabela é construída como a de número 3.
2. Começa-se com 48 moedas

na coluna R e zero na coluna P. Escrevem-se esses números nas segunda e terceira colunas da tabela. Calculam-se, utilizando as constantes de velocidade de reação para cada uma, quantas moedas terão que ser movidas de R para P e quantas de P para R e escrevem-se os resultados nas quarta e quinta colunas da tabela.

3. Começam-se o movimento das moedas como já citado e a seguinte rodada, informando com quantas moedas iniciam-se as duas colunas.
4. Volta-se a calcular com as constantes de velocidade de reação da etapa 1 quantas moedas terão que ser movidas de R para P e quantas de P para R. Registram-se os resultados e inicia-se o movimento de moedas para completar mais uma rodada.
5. Repete-se a etapa 4 até as colunas não mudarem mais o número de moedas em duas voltas consecutivas.
6. Calcula-se a constante de equilíbrio mediante o quociente “número final de moedas na coluna P”/ “número final de moedas na coluna R”.

O resultado, com as constantes de velocidade de reação dadas, é o da Tabela 4 e a $K_{eq} = 2 = 32/16$.

Os estudantes percebem que o mesmo resultado da K_{eq} pode ser

Tabela 3: Tabela da analogia de Bartolow (2006).

Rodada N°	Começam na coluna R	Começam na coluna P	N° de R que será movido	N° de P que será movido
1				
2				
3				
...				

Tabela 4: Resultado da analogia de Bartolow (2006).

Rodada N°	Começam na coluna R	Começam na coluna P	N° de R que será movido	N° de P que será movido
1	48	0	24	0
2	24	24	12	6
3	18	30	9	7
4	16	32	8	8
5	16	32	8	8

obtido mediante o quociente das duas constantes de velocidade de reação $K_{eq} = k_d/k_r$. Eles consideram ainda a idéia do equilíbrio ser dinâmico, pois o transpasso das moedas de R para P e de P para R deve ser continuado, mas após o equilíbrio, deve ser transpassado sempre o mesmo número de moedas em ambas as direções. Tente-o fazer agora, mas com os seguintes dados para as constantes de velocidade:

Constante de velocidade da reação direta $R \rightarrow P$: $k_d = 0.3$

Constante de velocidade da reação inversa $P \rightarrow R$: $k_r = 0.7$

É importante também apresentar a analogia de Huddle, White e Rogers (2000), que emprega cartas. Para tal, é necessário ter em mãos 49 cartas, cada uma com um lado vermelho e outro branco (é claro que as cartas podem ser pegadas de um baralho normal, com fundo branco do lado onde está especificada a carta e, o outro lado, com o desenho do jogo). No primeiro turno de cada jogador, escolhe-se que $k_d = 1/4$ das cartas vermelhas serão transformadas em brancas e que $k_r = 1/3$ das cartas brancas, em vermelhas. Se o número de cartas não for divisível em 3 ou 4, considera-se o inteiro mais próximo ao quociente. Vejamos na Tabela 5 como é alcançado o equilíbrio em apenas algumas rodadas. O quociente entre o número de cartas brancas em equilíbrio e o número de vermelhas é:

$$K = \frac{21}{28} = \frac{3}{4} = \frac{1/4}{1/3}$$

Os mesmos resultados de equilíbrio são obtidos se o jogo for iniciado com 49 cartas brancas (produtos). Deixa-se ao leitor o exercício de demonstrá-lo.

3. A utilização de experimentos de mudanças físicas como análogos

Utilizar um experimento de uma mudança física como análogo do equilíbrio químico, ou de algum de seus aspectos, é sugerido por vários autores. Já os projetos Nuffield (1967) e CBA (1964) propunham o experimento da difusão do iodo numa dissolução aquosa de iodeto de potássio e numa dissolução de um dissolvente orgânico (clorofórmio ou n-heptano, respectivamente) com o objetivo de ilustrar que os estados finais são os mesmos partindo de uma mistura de reagentes ou de uma mistura de produtos. Para depois do experimento, Lees (1987) propõe a analogia de “um jogo com fitinhas de papel”, e o projeto Nuffield (1967) sugere ver e discutir dois filmes sobre o equilíbrio sólido/líquido e líquido/vapor.

Como será mencionado mais adiante, no conjunto das analogias que utilizaram e utilizam os cientistas nos seus trabalhos, a analogia de uma mudança de fase como o equilíbrio entre a água líquida e a água gasosa inspirou Pfaundler na sua explicação molecular do equilíbrio químico. Atualmente, e como forma de introduzir o conceito de equilíbrio dinâmico, o equilíbrio de fases entre a água líquida e água vapor é sugerido, entre outros, por Caruso e col. (1997).

Rocha e col. (2000) apresentaram, a um grupo de alunos de primeiro ano de universidade, uma atividade que consiste em relacionar uma mudan-

ça de fase (água - vapor) com uma mudança química (decomposição do carbonato de cálcio) ambos em recipientes abertos e fechados. As aprendizagens obtidas foram comparadas, por meio de um questionário escrito contendo três questões, com as aprendizagens obtidas por um grupo que recebeu o ensino habitual. Os alunos que realizaram a atividade mostraram uma noção mais acabada do equilíbrio químico como dinâmico e das condições do sistema. Uma das questões solicitava a interpretação de uma representação microscópica. Essa questão permitiu indagar sobre a coexistência de todas as espécies e sobre a composição do sistema em equilíbrio químico.

Costumam-se apresentar também mudanças físicas como as dissoluções para introduzir o conceito de equilíbrio químico – por exemplo, a dissolução do cloreto de sódio em água. Tyson, Treagust e Bucat (1999) comprovaram que os alunos transferem a noção de saturação aos equilíbrios químicos e apresentam dificuldades ao fazerem predições sobre como a adição de mais sólido afeta a composição da mistura em equilíbrio. Por causa disso, recomendaram não deixar de abordar no ensino as semelhanças e as diferenças entre ambos os tipos de sistemas.

4. A utilização de fenômenos de fluxo ou transferência de fluidos

Num livro recente (ACS, 2005), elaborado com base em atividades, aparece a analogia dos “copos de diferentes tamanhos” para exemplificar o equilíbrio químico: cada dupla de estudantes trabalha em pequenos grupos para discutir, reunir e analisar

Tabela 5: Analogia de Huddle, White e Rogers (2000). É iniciada com 49 cartas vermelhas (reagentes), com $k_d = 1/4$ e $k_r = 1/3$.

Turno	Reagentes			Produtos		
	$N_{\text{vermelhas}}$	Veloc. nítida	Trocam	N_{brancas}	Veloc. nítida	Trocam
0	49	--		0	--	
1	49-12+0	--	12	0-0+12	--	0
2	37-9+4	-12	9	12-4+9	12	4
3	32-8+5	-5	8	17-5+8	5	5
4	29-7+6	-3	7	20-6+7	3	6
5	28-7+7	-1	7	21-7+7	1	7
6	28	0	7	21	0	7

os resultados. Cada um dos estudantes tem um recipiente de plástico de 10 cm de altura (como uma cuba ou um aquário). Acrescenta-se água até encher um dos recipientes até as duas terças partes do seu volume, e o do outro estudante é deixado vazio. Um dos estudantes tem um copo de 100 mL e o outro, um de 250 mL, com os quais pegam a água que podem de seu recipiente (sem tratar de encher o copo se não for possível) e o transvasam no recipiente do seu companheiro em cada ocasião, ação que é repetida várias vezes. Os volumes de água em ambos os recipientes vão sendo anotados. Pergunta-se nesse livro: “o que pode ser observado com relação ao nível da água nos dois recipientes? Existe alguma diferença em saber que recipiente continha inicialmente água? O que poderia ser dito se tivéssemos começado de dois recipientes com quantidades de água diferentes?”.

Numa versão dessa analogia (Garritz e Chamizo, 1994), conta-se com dois recipientes transparentes e dois copos iguais. Um dos alunos retira água do seu recipiente e a transvasa no outro, outro aluno faz o mesmo a partir do outro recipiente, ambos ao mesmo tempo (equilíbrio dinâmico) respeitam a condição de encher o copo até onde possam sem inclinar os recipientes. Formulam-se perguntas do tipo: Se um dos copos tem maior volume que outro, toda a água passará de um recipiente a outro? Ou ficará água em ambos os recipientes?

Essa analogia já foi sugerida nos anos 1950 por autores como Sorun (1948) e Kauffman (1959) (Figura 5).

Outra analogia apresenta dois recipientes comunicados na sua parte

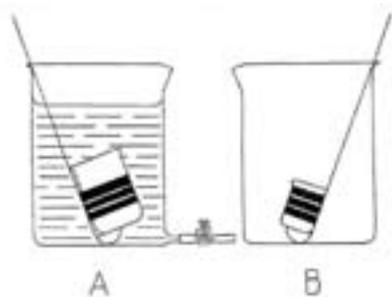


Figura 5: A analogia de transferência de água sugerida por Kauffman (1959).

inferior por um canal (Donati; Jubert e Andrade Gamboa, 1992). Inicialmente um dos recipientes pode conter água e o outro não (se a conexão do canal entre ambos for fechada com uma pinça). Essa analogia é proposta para dar a idéia de que o sistema evolui espontaneamente para o estado de menor energia (potencial gravitacional), alcançando um equilíbrio (hidrostático). Apesar de que, mostrar o estado final de equilíbrio como uma situação em que os níveis de água são igualados (Figura 6), conduz à concepção errônea de considerar o equilíbrio químico como uma situação na qual as quantidades de reagentes e produtos são iguais. Se uma vez alcançado o equilíbrio é adicionada mais água num dos recipientes, o sistema compensa a perturbação gerando um outro estado de equilíbrio. Adicionalmente, este resulta ser um exemplo do compartilhamento do equilíbrio.

Esses “modelos hidrodinâmicos” são utilizados na proposta de ensino

do equilíbrio químico sugerida por Tóth (2000), que é comentada mais adiante.

5. A utilização de máquinas como analogias

Na bibliografia, são encontradas várias máquinas que produzem o movimento e a transferência de esferas entre dois compartimentos. Essas esferas (bolas de pingue-pongue ou de isopor) são colocadas em movimento ao entrarem em contato com pazinhas, com correntes de ar ou com um vibrador. Por exemplo, o dispositivo proposto por Alden e Schmuckler (1972) (Figura 7) ilustra por analogia os diagramas de energia potencial. Duas rodas com pazinhas giram à mesma velocidade (“temperatura”) por um motor elétrico. Ambos os recipientes estão separados por uma divisória (“energia de ativação”). As esferas podem ser colocadas em qualquer compartimento, o que mostrará que o equilíbrio pode ser

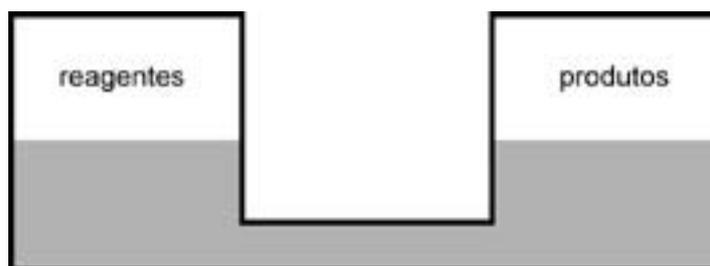


Figura 6: Estado de equilíbrio alcançado na analogia do equilíbrio hidroestático de Donati; Jubert e Andrade Gamboa, 1992.

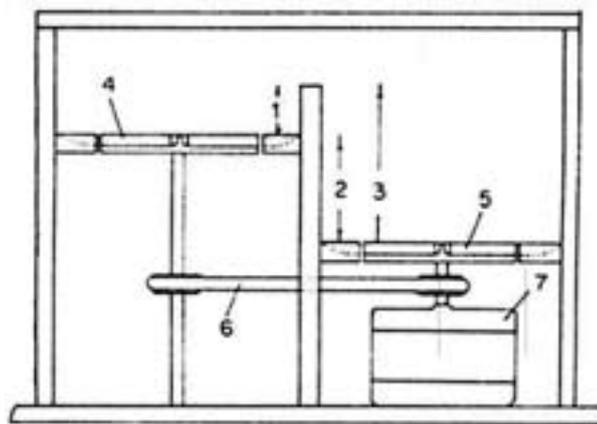


Figura 7: Dispositivo analógico proposto por Alden e Schmuckler (1972). Referências: 1 e 3 – energias de ativação para as reações direta e inversa; 2 – mudança de energia potencial nítida, 4 e 5 – rodas com pazinhas, 6 – correia de borracha, 7 – motor elétrico.

alcançado partindo de qualquer direção. Essa analogia permite calcular a constante de equilíbrio.

Um dos primeiros dispositivos que foram propostos (Fiekers e Gibson, 1945) consistiu em compartimentos situados em um plano horizontal, no qual esferas são sacudidas por um vibrador, tudo isso encaixado num projetor vertical. Esse modelo dinâmico permite ilustrar as leis dos gases e a cinética molecular, além de fornecer uma analogia mecânica do equilíbrio químico.

A relação entre equilíbrio e termodinâmica é ilustrada na analogia usada freqüentemente (por exemplo, Harris, 1982), que afirma que um sistema em equilíbrio é análogo a uma bola detida na parte inferior de um vale, onde seu estado de equilíbrio está definido pela mínima energia potencial gravitacional da bola. Analogamente, o equilíbrio é definido mediante o mínimo de outro potencial: o G de Gibbs. Canagaratna e Selvaratnam (1970) ilustram o equilíbrio químico por analogia com o equilíbrio mecânico, que resulta mais familiar para os estudantes, por meio da comparação de equações.

Analogias apresentadas em livros de texto

Os autores de livros de texto de ciências utilizam as analogias como uma estratégia para facilitar a aprendizagem de conceitos abstratos, mas se percebe que não têm incorporado as recomendações sugeridas pelas investigações nessa área como, por exemplo, alguns conselhos sobre as características e a posição das analogias nos textos nem mesmo sobre as estratégias mais adequadas para apresentá-las (Curtis e Reigeluth, 1984).

Uma das primeiras discussões sobre a apresentação de analogias em textos de química geral encontra-se em Lewis (1933), que ressalta as vantagens e desvantagens do seu uso; previne sobre o uso não instrutivo, apenas anedótico ou humorístico, das analogias; também sobre certas hipóteses absurdas que os professores fazem ao superestimá-

las; e adverte sobre o perigo de as analogias gerarem idéias não desejadas pelo professor na mente dos estudantes. Descreve algumas analogias, encontradas em quatro textos da época, como a do balanço financeiro dos estudantes para o equilíbrio químico (nela o dinheiro poupado para um curso é mantido constante se for conseguido que os gastos e ganhos sejam sempre constantes).

Na década de 1960, foi apresentado nos textos da reforma curricular *post-sputnik* (Chem. Study, 1963; CBA, 1964; Nuffield, 1967) um número grande de analogias.

Thiele e Treagust (1994a) analisaram as analogias apresentadas em 10 livros de texto de química australianos para o Ensino Médio e concluíram que o uso freqüente de analogias simples (que constam apenas de um objetivo, uma base e um conectivo do tipo “é como”) e a carência de afirmações sobre suas limitações podem criar problemas na aprendizagem dos estudantes. Os temas que apresentaram maior número de analogias foram os de natureza não observável como estrutura atômica (23%), ligações (13%) e energia (12%). O tema equilíbrio químico foi responsável por 5% do total. O formato das analogias apresentadas mostrou 53% de escrito-verbal e 47% de pictórico-verbal, sendo a analogia verbal reforçada com um desenho ou uma foto.

Os análogos e os objetivos também são classificados, de acordo com o seu grau de abstração, em concretos ou abstratos. Considera-se que o domínio é concreto se for direta e sensorialmente observável e/ou consistente com experiências do cotidiano dos estudantes. Como foi comprovado na análise das analogias propostas para o equilíbrio químico, a maioria corresponde ao tipo “análogo concreto e objetivo abstrato” dada à finalidade das analogias. Thiele e Treagust (1994a) acharam que o 87% das 93 analogias incluídas em textos era desse tipo.

Recentemente o livro da ACS (2005) retoma o costume de inserir analogias nos textos.

Analogias nas aulas

Apesar de os docentes manifestarem estar conscientes dos benefícios das analogias na aprendizagem, Treagust e col. (1992) observaram um escasso uso destas nas aulas de ciências. Os professores entrevistados por esses autores não diferenciavam analogias de exemplos e, quando empregavam analogias, não o faziam da melhor forma, descrevendo as semelhanças e as limitações delas.

Thiele e Treagust (1994b) coletaram as analogias empregadas em aula por quatro professores quando estes abordavam temas conceitualmente abstratos como o equilíbrio químico. A maioria das analogias surgiu como uma resposta do professor a certos estímulos dos alunos como o gesto de desconcerto ou frente a perguntas dos estudantes.

As analogias achadas por eles para o equilíbrio químico são detalhadas na Tabela 6.

As analogias encontradas foram similares às apresentadas nos textos como, por exemplo, a do fluxo de água entre dois recipientes, o que reforça a afirmação de que os textos constituem uma das principais fontes de analogias para os professores.

Tóth (2000) apresenta as vantagens e desvantagens de uma estratégia de ensino do equilíbrio químico fundamentada na utilização de analogias (“modelos dinâmicos”), para introduzir o tema a estudantes de Ensino Médio (15-16 anos). Os principais passos dessa estratégia respondem às seguintes perguntas:

- O que significa o “estado de equilíbrio”? (Os estudantes usam um jogo de dados, por exemplo).
- Como a concentração e a velocidade de reação mudam numa reação simples que se encontra ou não em equilíbrio? (Os estudantes e o professor usam o modelo hidrodinâmico para fazer gráficos de concentração vs. tempo e velocidade vs. tempo).
- Quais são as características de uma reação em equilíbrio? (Dedução a partir de modelos: as concentrações não mudam, equilíbrio dinâmico, $v_d = v_r$).

Tabela 6: Analogias observadas em aulas sobre o equilíbrio químico.

Análogo	Objetivo
Retirar o capuz de uma caneta	Energia necessária para quebrar ligações químicas
Fluxo de água a partir de e para um recipiente	Propriedades constantes num sistema aberto
Efeitos gravitacionais sobre um corpo	Tendência de um sistema para retornar ao equilíbrio
Elástico retornando ao seu comprimento original	Tendência de um sistema para retornar ao equilíbrio
Pessoas entrando e saindo de um comércio	Velocidades da reação direta e inversa no equilíbrio
Pessoa subindo e descendo uma escada	Competência, velocidade de reação direta e inversa

- Que tipo de dados são característicos do equilíbrio? (Medidas sobre o modelo hidrodinâmico. Generalização do conceito “constante de equilíbrio”).
- Como uma mudança na concentração afeta o equilíbrio? (Medidas sobre o modelo hidrodinâmico. Investigação de reações químicas reais).

Analogias criadas pelos alunos

Várias pesquisas solicitaram aos estudantes que produzissem suas próprias analogias (por exemplo, Pittman, 1999). A partir da sua análise, foi concluído que essa atividade constitui uma boa forma de avaliação diagnóstica da compreensão dos conceitos, dado que as explicações dadas pelos alunos eram ricas, embora às vezes permitissem o surgimento de eventuais concepções alternativas. Além do mais, esse tipo de participação ativa fomentou a autonomia e auto-estima do aluno.

Fabiao e Duarte (2005) indagaram as dificuldades de futuros professores de ciências em produzir analogias sobre o equilíbrio químico, em particular sobre perturbações de sistemas em equilíbrio e o princípio de Le Chatelier. Esse artigo enfatiza os problemas já mencionados por outros sobre a aplicação do princípio de Le Chatelier no ensino (Quílez, 1998; Van Driel e Gräber, 2002). As dificuldades foram apreciadas na seleção do análogo e/ou nas correspondências que foram estabelecidas entre análogo e objetivo. Algumas analogias induziam ou

reforçavam concepções alternativas. Por exemplo, a analogia proposta de dois globos conectados entre eles transmite a idéia compartimentada do equilíbrio. Outras mostraram um desconhecimento sobre as características do sistema em equilíbrio (sistema fechado, composição constante). Em geral, os análogos selecionados pelos alunos permitiam estabelecer correspondências superficiais. A analogia da “panela com água fervida”, proposta por um grupo desses alunos, constitui a conhecida estratégia de introduzir o equilíbrio químico a partir do equilíbrio de fases.

Analogias utilizadas por cientistas

Os cientistas utilizam, e têm utilizado, as analogias na elaboração e comunicação de suas teorias.

No caso do equilíbrio químico, Pfaundler, em 1867, reformulou a idéia de Williamson (que explicava o equilíbrio como a produção simultânea de duas reações químicas em sentidos opostos) baseando-se na explicação molecular dada por Clausius em 1857 sobre a evaporação de um líquido. Pfaundler supôs que o número de moléculas unidas e separadas por colisão é o mesmo. No ensino, essa analogia é proposta, por exemplo, por Caruso e col. (1997), com o objetivo de construir a idéia de equilíbrio dinâmico a partir de um fato conhecido e significativo para o aluno, como é a evaporação da água. Segundo esses autores, baseia-se em utilizar um equilíbrio dinâmico de fases para construir a “essência” de

dito conceito, para logo aplicá-lo em situações mais complexas como o equilíbrio químico.

Outro exemplo histórico relevante é constituído pelas alusões de Hittorf sobre como o modelo cinético molecular dos gases é transferido por analogia às dissoluções. Em definitivo, as analogias usadas na construção histórica do conhecimento podem constituir outra fonte de analogias para o uso docente. Se os cientistas faziam uso das analogias para divulgar suas idéias para outros cientistas e para fazer mais acessíveis aspectos complexos, com maior razão se justifica sua utilização no âmbito do ensino.

Conclusões

As analogias constituem uma estratégia válida para o ensino do equilíbrio químico devido à complexidade e a abstração do conceito. A natureza reversível da mudança química e a natureza dinâmica do equilíbrio químico podem ser visualizadas mediante analogias.

Quando um fenômeno químico é apresentado, costumam-se ser estabelecidas relações entre os níveis macroscópico, simbólico e microscópico, embora os estudantes freqüentemente transfiram de forma inadequada propriedades de um nível para outro como, por exemplo, propriedades do mundo macroscópico para os átomos, os íons e as moléculas. Se isso ocorrer num mesmo fenômeno, com maior razão espera-se que isso apareça quando uma analogia é apresentada, na qual se apela a um fenômeno diferente.

Muitas das analogias encontradas ilustram um estado de equilíbrio de composição constante, porém estático. Poucas analogias mostram o dinamismo da reação química com a ruptura de ligações e redistribuição dos átomos nas moléculas. Por isso, é aconselhável a inclusão de analogias como a da “escola de dança” ou a do “jogo dos cliques” no ensino.

Também é conveniente considerar aspectos metodológicos para o uso de analogias como o decálogo elaborado por Raviolo e Garritz (s/d), que destaca, por exemplo, a necessidade

de apresentar mais de um análogo para o mesmo objetivo. Além disso, na bibliografia, são encontrados exemplos nos quais as analogias foram complementadas com experimentos, simulações no computador, folhas de cálculo etc.

Referências

ACS – American Chemical Society; Bell, J. e col. *Química. Un proyecto de la ACS*. Barcelona: Reverté, 2005.

ALDEN, R. e SCHMUCKLER, J. The design and use of an equilibrium machine. *Journal of Chemical Education*, 49(7), 509-510, 1972.

ASTOLFI, J.P. El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 206-216, 1994.

BAISLEY, D. Equilibrium and the dance floor problem. *Chem 13 News*, 92, 3, 1978.

BARTHLOW, M. Modeling dynamic equilibrium with coins. *Journal of Chemical Education*, 83(1), 48A, 2006.

BATTINO, R. A dynamic lecture demonstration of dynamic equilibrium – the BG system. *Journal of Chemical Education*, 52(1), 55, 1975.

BERGQUIST, W. e HEIKKINEN, H. Student ideas regarding chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 67(12), 1000-1003, 1990.

BRADLEY, J.; GERRANS, G. e LONG, G. Views of some secondary school science teachers and student teachers about chemical equilibrium. *South African Journal of Education*, 19(1), 3-12, 1990.

CALDWELL, W. Usable analogies in teaching fundamentals of chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 9(12), 2079-2080, 1932.

CANAGARATNA, S. e SELVARATNAM, M. Analogies between chemical and mechanical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 47(11), 759-760, 1970.

CARMODY, W. Dynamic equilibrium: a simple quantitative demonstration. *Journal of Chemical Education*, 37(6), 312-313, 1960.

CARUSO, F. e col. Propuesta didáctica para la enseñanza – aprendizaje del equilibrio químico. *Enseñanza de las Ciencias*. N° extra, V Congreso, 287-288, 1997.

CBA Project. *Chemical Bonding Approach*. United Kingdom: Earlham College Press, 1964. Traduzido como *Sistemas químicos*. Barcelona: Reverté, 1967.

CHANG, R. *Química*. 6 ed. México: McGrawHill, 1999.

CHEM. STUDY. New York: W. H. Freeman, 1963. Traduzido como *Química: una*

Dessa forma, reunimos um amplo conjunto de analogias para serem empregadas no ensino do equilíbrio químico e citamos as limitações do emprego de muitas delas, pois esperamos que os docentes, que leiam e estudem este artigo, coloquem

ciencia experimental. Zaragoza: Reverté, 1966.

CULLEN, J. Computer simulation of chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 66(12), 1023-1025, 1989.

DAINTON, F. e FISHER, D. Chemical kinetics and equilibrium at school level. *Education in Chemistry*, 6(6), 217-220, 1969.

DELORENZO, R. Chemical equilibrium: analogies that separate the mathematics from the chemistry. *Journal of Chemical Education*, 5, 676, 1977.

DESSER, D. Approaching equilibrium. *Science Teacher*, 63(7), 40-43, 1996.

DICKERSON, R. e GEIS, I. *Chemistry, matter and the universe*. Menlo Park: Benjamin; Cummings Publishing, 1981.

DONATI, E.; JUBERT, A. e ANDRADE GAMBOA, J. Uso de un modelo sencillo para la enseñanza de equilibrio químico. *Anuario Latinoamericano de Educación Química*, 2, 259, 1992.

DUNN, B. Model of dynamic equilibrium. *School Science Review*, 62, 334-335, 1980.

EDMONSON, L. e LEWIS, D. Equilibrium principles: a game for students. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 502, 1999.

FABIAO, L. e DUARTE, M. Dificultades en la producción y exploración de analogías: un estudio en el tema equilibrio químico con alumnos futuros profesores de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 2005.

FIKERS, B. e GIBSON, S. Illustration of the gas laws. *Journal of Chemical Education*, 22(6), 305-308, 1945.

FURIÓ, C. e ORTIZ, E. Persistencia de errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 15-20, 1983.

GARNETT, P. J. e TREAGUST, D.F. Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electric circuits and oxidation-reduction equations. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 121-142, 1992.

GARRITZ, A. The painting-sponging analogy for chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 74(5), 544-545, 1997.

GARRITZ, A. e CHAMIZO, J.A. *Química*. Wilmington: Addison-Wesley, 1994.

GORODETSKY, M. e GUSSARSKY, E. Misconceptualization of the chemical equilibrium concept as revealed by different

atención nas reações dos estudantes após sua apresentação.

Andrés Raviolo (araviolo@bariloche.com.ar) é professor da Universidad Nacional del Comahue, Bariloche, Argentina. **Andoni Garritz** (andoni@servidor.unam.mx) é professor da Universidad Nacional Autónoma de México, México

evaluation methods. *European Journal of Science Education*, 8(4), 427-441, 1986.

GOSWAMI, U. *Analogical reasoning in children*. Hove: Lawrence Erlbaum, 1992.

GROSSLIGHT, L.; UNGER, C.; JAY, E. e SMITH, C. Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799-822, 1991.

HACKLING, M. e GARNETT, P. Misconceptions of chemical equilibrium. *European Journal of Science Education*, 7(2), 205-214, 1985.

HAMBLY, G. Equilibrium – a novel classroom demonstration. *Journal of Chemical Education*, 52(8), 519, 1975.

HANSEN, R. Thermodynamic changes, kinetics, equilibrium, and Le Chatelier's principle. *Journal of Chemical Education*, 61(9), 804, 1984.

HANSON, R. Playing-card equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 80(11), 1271-1274, 2003.

HARRIS, W. F. Clarifying the concept of equilibrium in chemically reaction systems. *Journal of Chemical Education*, 59(12), 1034-1036, 1982.

HARRISON, J. e BUCKLEY, P. Simulating dynamic equilibria. *Journal of Chemical Education*, 77(8), 1013, 2000.

HARRISON, A. e DE JONG, O. Exploring the use of multiple analogical models when teaching and learning chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching* 42(10), 1135-1159, 2005

HAUPTMANN, S. e MENDER, E. The statistical basis of chemical equilibria. *Journal of Chemical Education*, 55(9), 578-580, 1978.

HILDEBRAND, J. Catalyzing the approach to equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 23(12), 589-592, 1946.

HILL, G. e HOLMAN, J. *Chemistry in context*. Thames: Nelson, 1978.

HUDDLE, P. e NCUBE, N. A dynamic way to teach chemical equilibrium-part 1. *Spectrum*, 32(3), 39-40, 1994.

HUDDLE, P. e PILLAY, A. An in-depth study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at a South African University. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(1), 65-77, 1996.

- HUDDLE, P.; WHITE, M. e Rogers, F. Simulations for teaching chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 77(7), 920-926, 2000.
- HUGDAHL, W. Dynamic equilibrium. *Chem 13 News*, 81, 12, 1976.
- JOHNSTONE, A.; MACDONALD, J. e WEBB, G. Chemical equilibrium and its conceptual difficulties. *Education in Chemistry*, 14, 169-171, 1977.
- KARNS, G. A lecture demonstration of dynamic equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 4(11), 1431-1433, 1927.
- KAUFFMAN, G. Dynamic equilibrium: a student demonstration. *Journal of Chemical Education*, 36(3), 150, 1959.
- LAST, A. A bloody nose, the hairdresser's salon, flies in an elevator, and dancing couples: the use of analogies in teaching introductory chemistry. *Journal of Chemical Education*, 60(9), 748-750, 1983.
- LAURITA, W. Another look at a mechanical model of chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 67(7), 598, 1990.
- LEES, A. The equilibrium game. *School Science Review*, 69, 304-306, 1987.
- LEWIS, J. Analogies in teaching freshman chemistry. *Journal of Chemical Education*, 10, 627-630, 1933.
- LICATA, K. Chemistry is like a... *Science Teacher*, 55(8), 41-43, 1988.
- MACDONALD, J. *Chemical equilibrium, acids and bases*. ASE: John Murray, 1973.
- MARTIN, D. F. A mechanical demonstration of approach to equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 53(10), 634, 1976.
- MARZZACCO, C. Spreadsheet simulation of a simple kinetic system. *Journal of Chemical Education*, 70(12), 993-994, 1993.
- MICKEY, C.D. Chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 57(11), 801-804, 1980.
- MOOG, R. e FARREL, J. *Chemistry—A Guided Inquiry, 2nd edition*. New York: John Wiley & sons, 2002.
- NAKHLEH, M. Why some students don't learn chemistry. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191-196, 1992.
- NASH, J. e SMITH, P. The "collision cube" molecular dynamics simulator. *Journal of Chemical Education*, 72(9), 805-807, 1995.
- NCUBE, N. e HUDDLE, P. A dynamic way to teach chemical equilibrium-part 2. *Spectrum*, 32(4), 2-3, 1994.
- NUFFIELD FOUNDATION, Chemistry. United Kingdom: Longmans; Penguin Books, 1967. Traduzido como *Química*. Barcelona: Reverté, 1970.
- OLNEY, D. Some analogies for teaching rates/equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 65(8), 696-697, 1988.
- PAIVA, J.; GIL, V.; e CORREIA, A. Le Chat: Simulation in Chemical Equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 80(1), 111, 2003.
- PEREIRA, M. *Equilíbrio químico. Dificuldades de aprendizagem y sugerencias didácticas*. 2 ed. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Química, 1990.
- PITTMAN, K. Student-generated analogies: another way of knowing? *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 1-22, 1999.
- QUÍLEZ, J., Persistencia de errores conceptuales relacionados con la incorrecta aplicación del principio de Le Châtelier. *Educación Química*, 9(6), 367-377, 1998.
- QUÍLEZ, J.; LORENTE, S.; SENDRA, F.; CHORRO, F. e ENCISO, E. *Química. Bachillerato 2*. Valencia: Ecir, 2003.
- RAKESTRAW, N. Demonstrating chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 3(4), 450-451, 1926.
- RÄMME, G. Simulating physical chemistry for undergraduates. *Education in Chemistry*, 32(2), 49-51, 1995.
- RAVILOLO, A. Las imágenes en el aprendizaje y en la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química*, 17(nº extr.), 300-307, 2006.
- RAVILOLO, A. e GARRITZ, A. Uso de analogías en la enseñanza de la química: necesidad de elaborar decálogos e inventarios. *Alambique*, 51, en prensa.
- RILEY, P. Dynamic equilibria -a simple model. *School Science Review*, 65, 540, 1984.
- ROCHA, A.; SCANDROLI, N.; DOMÍNGUEZ, J. e García-Rodeja, E. Propuesta para la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química*, 11(3), 343-352, 2000.
- RUSSELL, J. Simple models for teaching equilibrium and Le Chatelier's principle. *Journal of Chemical Education*, 65(10), 871-872, 1988.
- SAWYER, D. e MARTENS, T. An equilibrium machine. *Journal of Chemical Education*, 69(7), 551-553, 1992.
- SLABAUGH, W. Lecture demonstration: derivation of the equilibrium constant. *Journal of Chemical Education*, 26, 430-432, 1949.
- SMITH, D. Le Chatelier's principle demonstrate with a rubber band. *Journal of Chemical Education*, 54(11), 701, 1977.
- SORUM, C.H. Lecture demonstration for general chemistry. *Journal of Chemistry Education*, 25(9), 489-490, 1948.
- THIELE, R. Useful analogies for the teaching of chemical equilibrium. *Australian Science Teachers Journal*, 36(1), 54-55, 1990.
- THIELE, R. e TREAGUST, D. The nature and extend of analogies in secondary chemistry textbooks. *Instructional Science*, 22, 61-74, 1994a.
- THIELE, R. y TREAGUST, D. An interpretative examination of high school chemistry teachers' analogical explanations. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(3), 227-242, 1994b.
- THOMSON, M. Models to demonstrate chemical equilibrium. *School Science Review*, 57, 509-511, 1976.
- TÓTH, Z. How to introduce chemical equilibrium – a teaching strategy. *16th International Conference on Chemical Education*. Budapest, Hungary, 2000.
- TREAGUST, D.; DUIT, R. e NIESWANDT, M. Sources of students' difficulties in learning Chemistry. *Educación Química*, 11(2), 228-235, 2000.
- TYSON, L.; TREAGUST, D.F. e BUCAT, R.B. The complexity of teaching and learning chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 554-558, 1999.
- UMLAND, J. e BELLANA, J. *Química general*. 3 ed. México: Thomson, 2000.
- VAN DRIEL, J. e GRÄBER, W. Teaching and learning of chemical equilibrium. En J. K. Gilbert et al. (Eds.) *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, 271-292. Netherlands: Kluwer, 2002.
- WEIGANG, O. A model for demonstrating dynamic equilibria. *Journal of Chemical Education*, 39(3), 146-147, 1962.
- WHEELER, A. E. E KASS, H. Student's misconceptions in chemical equilibrium. *Science Education*, 62(2), 223-232, 1978.
- WILSON, A. Equilibrium: a teaching/learning activity. *Journal of Chemical Education*, 75(9), 1176-1177, 1998.
- WOOD, D. A bibliography of chemical kinetics and equilibrium instructional models. *School Science and Mathematics*, 75(5), 627-633, 1975.
- ZOOK, K. Effect of analogical processes on learning and misrepresentation. *Educational Psychology Review*, 3(1), 41-72, 1991.

Abstract: Analogies in the teaching of chemical equilibrium. The results of a comprehensive bibliographic research on analogies proposed to teach chemical equilibrium are presented. The authors intend to contribute with the work of teachers and students organizing the disperse literature. A lot of the analogies that have been published are unknown to teachers because they have appeared with great dispersion of time and inside international journals. These analogies were classified in five groups and the aspects that present the phenomenon, the possible learning difficulties and the alternative conceptions that may promote are stood out. A few of the analogies are explained in detail. Furthermore, the use of them in the classroom and by scientists, their presentation in textbooks and the analogies created by students are also examined.

Keywords: Chemical equilibrium, analogies, bibliographic research, university education