

Obstáculos Epistemológicos no Ensino-Aprendizagem de Química Geral e Inorgânica no Ensino Superior: Resgate da Definição Ácido-Base de Arrhenius e Crítica ao Ensino das “Funções Inorgânicas”

Leonardo A. Silva, Ariane L. Larentis, Lúcio A. Caldas, Manuel G. L. Ribeiro, Rodrigo V. Almeida e Marcelo H. Herbst

Este trabalho problematiza o tópico “funções inorgânicas” presente em livros e cursos de química geral a partir da noção bachelandiana de obstáculo epistemológico. Essas funções (ácido, base, óxido e sal) se confundem quando abordamos a definição ácido-base de Arrhenius: há óxidos que reagem como ácidos ou bases e igualmente ocorre com os sais. O acúmulo de classificações quanto à composição faz com que as definições não só se confundam como causem distorções ao aprendizado. Afinal, os termos acidez e basicidade são relativos à reatividade e não à composição. Num questionário, respondido por graduandos do curso de química, foram detectados os obstáculos relacionados às “funções inorgânicas” e à definição ácido-base de Arrhenius. As origens desses obstáculos são atribuídas tanto à qualidade dos livros-textos do ensino médio como à falta de discussão sobre os aspectos epistemológicos dos tópicos incluídos nos conteúdos programáticos dos cursos de química no ensino superior.

► funções inorgânicas; obstáculos epistemológicos; definições ácido-base ◀

Recebido em 05/08/2013, aceito em 16/03/2014

As definições ácido-base ocupam uma posição destacada na química devido ao seu caráter organizador. Além disso, constituem um tema presente tanto no ensino médio como no ensino superior e que possibilita discutir aspectos da história da química a partir da evolução “quase linear ao longo do tempo” (Chagas, 1999, p. 28) das definições, no mais das vezes ligadas aos desenvolvimentos de linhas de pesquisa ou mesmo de ramos inteiros da química. Nos cursos de química geral e química inorgânica para o ensino superior, o estudo das definições ácido-base mais comuns é rotineiro e, entre elas, a definição de Arrhenius é em geral a primeira das definições ácido-base modernas a ser apresentada. Ao apresentar e discutir a definição ácido-base de Arrhenius nos cursos de química geral e inorgânica do ensino superior, deparamo-nos com um problema: grande parte dos estudantes traz do ensino

médio uma compreensão equivocada e confusa do assunto.

Svante Arrhenius foi um dos fundadores da físico-química, agraciado com o prêmio Nobel de Química de 1903 “em reconhecimento pelos extraordinários serviços que prestou para o avanço da química através de sua teoria da dissociação eletrolítica” (Nobel, 2013). Ele tinha interesses científicos variados e iniciou seus estudos investigando o comportamento das soluções eletrolíticas. Sua contribuição foi decisiva para a compreensão de fenômenos como a correspondência entre a força dos ácidos e das bases e o

Embora Arrhenius não tenha efetivamente cunhado uma definição para ácidos e bases, mostrou que a reação fundamental de neutralização entre um ácido forte e uma base forte em solução aquosa é descrita pela equação abaixo (Arrhenius, 1904):



calor das reações de neutralização, a migração independente de íons durante as eletrólises e o fato de que um eletrólito obedece à mesma lei de dissociação com o aumento da diluição que um gás com a diminuição da pressão (Noyes, 1896). De forma geral, a teoria da dissociação eletrolítica de Arrhenius permitiu explicar o fato de que as propriedades de uma solução diluída de um eletrólito dependem da soma das propriedades dos íons presentes em vez das propriedades do composto químico que a combinação desses íons produz.

A seção “Conceitos científicos em destaque” tem por objetivo abordar, de maneira crítica e/ou inovadora, conceitos científicos de interesse dos professores de Química.

Embora ele não tenha efetivamente cunhado uma definição para ácidos e bases, mostrou que a reação fundamental de neutralização entre um ácido forte e uma base forte em solução aquosa é descrita pela equação abaixo (Arrhenius, 1904):



A partir da equação fundamental de neutralização e assumindo que H^+ corresponda a uma simplificação dos agregados catiônicos formados em soluções aquosas, pode-se definir ácido como uma espécie que, em solução aquosa, aumenta a concentração de H^+ , e base como uma espécie que, em solução aquosa, aumenta a concentração de HO^- (Kotz; Treichel Jr., 2005).

É evidente que podemos aumentar a concentração de H^+ (ou de HO^-) numa solução aquosa pela adição de uma substância que forneça íons hidrogênio (ou hidroxila) adicionais, na condição de que as substâncias adicionadas contenham os íons em questão, ou pela adição de uma substância que remova íons hidroxila (ou hidrônio) do sistema, o que implica na reação dessas substâncias com a água ou com suas espécies dissociadas (Douglas et al., 1994).

Apesar de a definição de ácido-base de Arrhenius poder ser expressa adequadamente por esta anteriormente enunciada, grande parte dos estudantes do curso de química com os quais tivemos contato, seja em sala de aula ou ao longo desta pesquisa, reproduz a definição equivocada encontrada nos livros do ensino médio (Campos; Silva, 1999), na qual ou se afirma que ácido é uma espécie que, em solução aquosa, libera (doa) o cátion H^+ , e base é uma espécie que, em solução aquosa, libera (doa) o ânion HO^- . Não há qualquer dúvida ou sutileza aqui: se a espécie em questão libera (ou doa) um determinado íon, *só pode fazê-lo porque o íon em questão faz parte de sua composição*, ou seja, de sua fórmula.

Alternativamente, livros do ensino superior trazem essa definição equivocada como “ácido é uma substância contendo hidrogênio que produz íons hidrogênio em solução e base é uma substância contendo hidróxido que produz íons hidróxido em solução” (Russel, 1982, p. 391). Evidentemente essa definição equivocada (com suas inúmeras variantes) constitui um flagrante uso indevido do nome de Arrhenius. Além disso, a definição ácido-base de Arrhenius está fortemente ligada ao tópico funções inorgânicas – ácido, base, sal e óxido –, geralmente numa discussão restrita às reações em soluções aquosas. Na grande maioria dos livros de química geral, as definições mais comuns para essas funções, além das definições de Arrhenius (equivocadas) para ácidos e bases, podem ser resumidas da seguinte forma: óxidos – são compostos binários nos quais o oxigênio é o elemento mais

eletronegativo; sais – são produtos de reações entre ácidos e bases. Distinguem-se ainda nas funções inorgânicas os sais e os óxidos ácidos, básicos, neutros e anfóteros...

Campos e Silva (1999) mostram, por meio de equações químicas, como várias reações em solução aquosa entre substâncias que *não contêm* hidrogênio ou hidróxido invalidam a definição ácido-base de muitos livros-textos atribuída a Arrhenius, bem como as tais funções inorgânicas. Estes alertam, depois de analisar livros de diferentes autores, para a necessidade de modernizar o conteúdo dos livros didáticos de química para o ensino médio.

No entanto, salvo raras exceções, mesmo os livros de química modernos não problematizam as definições ácido-base, isto é, não são feitas considerações ao fato de coexistirem diferentes definições ácido-base ou tampouco remetem ao desenvolvimento histórico dessas definições. Isso pode estar ligado à posição conceitual que as definições ácido-base ocupam na química, pois, de acordo com Jensen (1980 *apud* Miessler; Tarr, 2004, p. 165):

*“[...] conceitos ácido-base ocupam uma posição um tanto nebulosa na estrutura lógica da química. A bem dizer, eles não são nem fatos nem teorias e não estão, portanto, nunca realmente “certos” ou “errados”. Ao contrário, eles são definições classificatórias ou analogias organizacionais. Eles são úteis ou inúteis... definições ácido-base são sempre um reflexo dos fatos e teorias correntes em química no momento da sua formulação e... eles devem, necessariamente, evoluir e mudar como os fatos e teorias que evoluem e mudam [...]”*¹

Para professores de química tanto do ensino médio como do ensino superior, um grande desafio que se coloca cotidianamente é tornar as aulas menos áridas sem, contudo, perder a profundidade que o ensino dessa ciência demanda. Assim, entendemos que a manutenção de um tópico como

funções inorgânicas vai no sentido oposto, destruindo nos estudantes o sentido da química como ciência em permanente construção e, ao mesmo tempo, reforçando a famosa decoreba que tanto afasta os estudantes do ensino médio do gosto pela química.

Em outras palavras, estamos convencidos de que não se trata somente de modernizar o livro-texto, mas de promover uma reforma criteriosa em seu conteúdo e nas ementas dos cursos, seja no nível médio ou no superior.

Contudo, mesmo concordando com isso, somos obrigados a constatar que essas medidas seriam ainda insuficientes, pois como afirma Lopes (2007, p. 138), “[...] pouco adianta modificar metodologias de ensino, caso não se enfrente a

Campos e Silva (1999) mostram, por meio de equações químicas, como várias reações em solução aquosa entre substâncias que não contêm hidrogênio ou hidróxido invalidam a definição ácido-base de muitos livros-textos atribuída a Arrhenius, bem como as tais funções inorgânicas. Estes alertam, depois de analisar livros de diferentes autores, para a necessidade de modernizar o conteúdo dos livros didáticos de química para o ensino médio.

discussão da tessitura epistemológica dos conceitos científicos ensinados”.

Em se tratando dos aspectos epistemológicos relacionados aos conceitos (ou, no caso deste estudo, das definições ácido-base), neste trabalho, recorreremos ao referencial teórico dos obstáculos epistemológicos proposto pelo filósofo francês Gaston Bachelard (2001, p. 11), que afirma:

“Quando se procuram as condições psicológicas do progresso da ciência, logo se chega à convicção de que é em termos de obstáculos que o problema do conhecimento científico deve ser colocado. E não se trata de considerar obstáculos externos, como a complexidade e a fugacidade dos fenômenos, nem de incriminar a fragilidade dos sentidos e do espírito humano: é no âmbito do próprio ato de conhecer que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos. É aí que mostraremos causas de estagnação e até de regressão, detectaremos causas de inércia às quais daremos o nome de obstáculos epistemológicos.”

Para Bachelard (2001), o ato de conhecer requer constantemente que se afrente um conhecimento anterior em um processo de desconstrução daquilo que ficou mal estabelecido. Por isso, não é possível considerar o estudante como tábula rasa. Ele possui conhecimentos já construídos a partir do senso comum (ou mesmo da escola) e esses conhecimentos, quando não confrontados e criticados, podem constituir obstáculos para a construção do conhecimento científico. É quando nos damos por entendidos em um determinado assunto e, portanto, não o questionamos que surge o que Bachelard (2001) chama de obstáculos epistemológicos. Sendo assim, a opinião sobre uma determinada questão passa a ser um entrave ao conhecimento científico. Dessa forma, o conhecimento comum, aquele gerado a partir da prática cotidiana, pode se tornar um obstáculo ao desenvolvimento do conhecimento científicoⁱⁱ.

Uma última palavra sobre a noção de obstáculo epistemológico: ao contrário do que se poderia supor, para Bachelard (2001), os obstáculos epistemológicos não devem ser iguais à noção de erro como contraposição à verdade, o que implicaria numa posição filosófica racionalista, isto é, não científica. Ao contrário, obstáculos epistemológicos são formas de conhecimento que resistem às mudanças devido ao seu poder explicativo ou, em outras palavras, devido à sua posição conceitual num dado sistema de conhecimentos, permitindo avançar até certo ponto na produção de conhecimentos para, a partir daí, gerar estagnação ou mesmo retrocesso (Brousseau, 2002; Larentis et

[...] obstáculos epistemológicos são formas de conhecimento que resistem às mudanças devido ao seu poder explicativo ou, em outras palavras, devido à sua posição conceitual num dado sistema de conhecimentos, permitindo avançar até certo ponto na produção de conhecimentos para, a partir daí, gerar estagnação ou mesmo retrocesso (Brousseau, 2002; Larentis et al., 2012).

al., 2012). Essa advertência nos parece importante para o melhor entendimento da noção de obstáculo epistemológico no sentido em que ela evidencia outro aspecto que não apenas o de obstaculizar (contrariedade), mas o de afinidade, que tem um papel fundamental em sua reprodução (continuidade) na produção/elaboração de uma dada teoria. Além disso, é a afinidade – ou seu poder de explicação – a característica que torna um determinado obstáculo difícil de ser removido do caminho da teoria, pois funciona metaforicamente como um desvio de caminho, não como um verdadeiro obstáculo (uma barreira fácil de ser detectada e/ou removida), que leva a teoria a se perder em problemas que não são os seus (Ribeiro et al., no prelo).

Bachelard (2001) descreve diferentes obstáculos exemplificando suas ações principalmente na física e na química, ciências consideradas por ele como mais evoluídas, matematizadas. Nesse sentido, ele lista os obstáculos da observação primeira, da generalização prematura, verbal, do conhecimento unitário e pragmático, do vitalismo, do realismo e do substancialismo. Esses últimos dois e também o verbal são de especial interesse para este trabalho.

Observam-se muitos obstáculos realistas nos livros de química. Estes ocorrem quando se busca associar ideias trazidas pelos nossos sentidos àquilo que não podemos compreender por meio deles. O frequente uso do modelo planetário em associação ao modelo atômico é um exemplo de obstáculo realista (Gomes; Oliveira, 2007; Romanelli, 1996). Tal obstáculo dificulta ao estudante a abstração necessária para a compreensão de muitos dos conceitos da mecânica quântica envolvidos com o estudo da química. O substancialismo é considerado por Bachelard (2001) um dos grandes obstáculos ao conhecimento científico na química, a qual não é a única ciência em que esse obstáculo se apresenta, mas é aquela que ele mais comumente ocorre:

“O obstáculo substancialista, como todos os obstáculos epistemológicos, é polimorfo. É constituído por intuições muito dispersas e até opostas. Por uma tendência quase natural, o espírito pré-científico [...] [a]tribui à substância qualidades diversas, tanto a qualidade superficial como a qualidade profunda, tanto a qualidade manifesta como a qualidade oculta.” (Bachelard, 2001, p. 105)

Um dos pontos principais no estudo de química é a importância que se dá às interações micro e macroscópicas da matéria. Sendo assim, atribuir características às substâncias sem que se leve em consideração essas interações não condiz com o pensamento científico em química. Conforme Bachelard (2001, p. 120):

“Um dos sintomas mais claros da sedução substancialista é o acúmulo de adjetivos para um mesmo substantivo: as qualidades estão ligadas à substância por um vínculo tão direto que podem ser justapostas sem grande preocupação com suas relações mútuas.”

São muitas as vezes em que o substancialismo obstaculiza o desenvolvimento de um raciocínio e a compreensão de novos conceitos. Retornando à definição ácido-base de Arrhenius e às funções inorgânicas, tema deste trabalho, qual professor de química jamais foi questionado sobre a obrigatoriedade da presença de hidrogênio na fórmula dos ácidos? O que dizer dos óxidos e sais ácidos, básicos ou anfóteros? Além disso, o obstáculo substancialista induz a uma visão deturpada das reações químicas, que são compreendidas como meras trocas e deslocamentos.

Com relação ao obstáculo verbal,

“[...] admitindo o desenvolvimento da ciência como descontínuo, com ruptura entre conhecimento passado e presente, a linguagem também deve ser retificada para se adequar aos novos conhecimentos. O processo de retificação da linguagem é mais lento que o da ciência, surgindo muitas vezes palavras que em lugar de expressarem os fenômenos são obstáculos à explicação científica. Metáforas são obstáculos que parecem simplificar a explicação científica, sugerindo diversas propriedades de uma substância, mas impedem construções mais precisas.” (Bulcão, 1981)

O obstáculo verbal também se refere ao uso indiscriminado de termos científicos, palavras, analogias, metáforas e jargões. O que em uma primeira referência

O objetivo deste trabalho foi investigar os obstáculos epistemológicos no processo de ensino/aprendizagem da definição ácido-base de Arrhenius nos cursos de química geral oferecidos aos estudantes de Química Industrial e Licenciatura em Química da UFRRJ. A investigação sobre esse conteúdo permitiu também realizar a crítica das funções inorgânicas.

pode parecer inofensivo, na verdade, pode provocar muitas interpretações equivocadas e dificuldades de compreensão dos conceitos.

Objetivos

O objetivo deste trabalho foi investigar os obstáculos epistemológicos no processo de ensino/aprendizagem da definição ácido-base de Arrhenius nos cursos de química geral oferecidos aos estudantes de Química Industrial e Licenciatura em Química da UFRRJ, por meio de um questionário montado com questões diretas, relacionadas à definição de Arrhenius. As respostas foram analisadas a partir da noção de obstáculo epistemológico proposta na epistemologia de Gaston Bachelard. A investigação sobre esse conteúdo permitiu também realizar a crítica das funções inorgânicas, tópico ainda presente nas ementas dos cursos de química geral da UFRRJ.

Metodologia

No desenvolvimento deste trabalho, foi elaborado um questionário contendo quatro perguntas relacionadas à definição ácido-base de Arrhenius, como mostra o Quadro 1.

Os questionários foram empregados de forma cega, sem os pesquisadores saberem quem são os participantes da pesquisa nem terem conhecimento de dados ou informações pessoais de cada um deles. Todos os participantes que responderam ao questionário receberam informações relativas ao objetivo do estudo e foram informados acerca do uso que seria feito das respostas ao questionário, bem como foi garantido o anonimato e assegurado o direito à recusa em participar da pesquisa. Outro

Quadro 1: Questionário elaborado para a pesquisa.

Considerando as definições de ácido e base segundo Arrhenius:

- 1) Ao reagir com a água, uma determinada substância causa o aumento da concentração de íons H_3O^+ no meio (ácido de Arrhenius). Essa substância deve ter hidrogênio (H) em sua fórmula?
- 2) Ao reagir com a água, uma determinada substância causa o aumento da concentração de íons OH^- no meio (base de Arrhenius). Essa substância deve ter hidroxila (OH) em sua fórmula?
- 3) Qual o produto da neutralização entre soluções aquosas de mesma molaridade de HCl e de NaOH?
- 4) Considere as seguintes reações:
 $\text{NH}_4\text{Cl (s)} + \text{H}_2\text{O (l)} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \text{ (aq)} + \text{H}_3\text{O}^+ \text{ (aq)} + \text{Cl}^- \text{ (aq)}$
 $\text{KCN (s)} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{K}^+ \text{ (aq)} + \text{HCN (aq)} + \text{OH}^- \text{ (aq)}$
 $\text{CaO (s)} + \text{H}_2\text{O (l)} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} \text{ (aq)} + 2\text{OH}^- \text{ (aq)}$
 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ (s)} + 12\text{H}_2\text{O (l)} \rightleftharpoons 2\text{Al(OH)}_3 \text{ (s)} + 6\text{H}_3\text{O}^+ \text{ (aq)} + 3\text{SO}_4^{2-} \text{ (aq)}$
Dentre as substâncias $\text{NH}_4\text{Cl (s)}$, KCN (s) , CaO (s) , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ (s)}$, alguma delas pode ser considerada um ácido ou uma base de Arrhenius? Quais? Justifique.

aspecto de natureza ética importante a ressaltar diz respeito à devolutiva dos resultados das pesquisas, que está sendo feita de forma ampla por meio da publicação deste trabalho, que será oportunamente apresentado e discutido com os docentes e estudantes da UFRRJ. A utilização dessa metodologia mostrou ser eficaz na detecção/discussão de obstáculos epistemológicos inclusive entre estudantes de pós-graduação (Larentis et al., 2012). O questionário foi respondido no primeiro semestre de 2011 por 59 estudantes dos cursos de Química Industrial e Licenciatura em Química da UFRRJ. Destes, 33 eram calouros e os demais, alunos de períodos variados. Esses alunos foram inseridos na pesquisa com o intuito de possibilitar uma comparação entre os resultados obtidos.

O formato das duas primeiras questões foi pensado com a intenção de garantir que aqueles que as responderiam saberiam em que se basear. Assim, poderiam se preocupar apenas com os fenômenos e não em ter que lembrar o que diz a definição. O mesmo vale para a quarta questão, cuja ideia se assemelha muito à das questões 1 e 2, porém com as reações exemplificadas. A terceira questão leva em consideração o erro comum apresentado no tópico das funções inorgânicas de qualificar um sal o produto de neutralização entre soluções aquosas de ácidos e bases.

Resultados e discussão

As duas primeiras questões são bastante objetivas e as respostas pretendidas eram *sim* ou *não* para a presença de hidrogênio em ácidos e hidroxila em bases. O objetivo dessa pergunta foi identificar prováveis obstáculos substancialistas entre os estudantes.

Para as discussões que virão a seguir, consideramos os estudantes do primeiro período o Grupo A, enquanto os estudantes sem período especificado foram agrupados no Grupo B. Foi realizada uma comparação entre as respostas dadas pelos dois grupos. Os resultados estão listados a seguir (Quadro 2).

Quadro 2: Comparação entre as respostas para as duas primeiras questões segundo os Grupos A e B.

Alunos	RESPOSTAS	1ª QUESTÃO	2ª QUESTÃO
Grupo A	SIM	85%	64%
	NÃO	15%	36%
Grupo B	SIM	42%	31%
	NÃO	58%	69%

Como se pode observar, houve grande diferença entre os percentuais obtidos entre os dois grupos. Para as duas questões, a maioria dos estudantes do primeiro período (Grupo A) respondeu que sim, ou seja, para estes, uma substância que reaja como um ácido de Arrhenius tem que ter hidrogênio (H) em sua fórmula e uma base de Arrhenius tem que ter oxigênio e hidrogênio (OH) na fórmula. As duas afirmações

estão equivocadas. A definição de Arrhenius não especifica nada sobre a necessidade de ácidos terem hidrogênio e bases terem hidroxila em suas composições como discutido na Introdução. O Grupo B teve a maioria respondendo não às duas questões, o que demonstra uma provável melhora na compreensão do conceito por estes ao longo do curso. A constatação desse erro, que é frequente em sala de aula, reflete erros que também ocorrem nos livros didáticos de química tanto para o ensino médio quanto para o ensino superior. A ideia de que o hidrogênio deva fazer parte da própria substância causadora do aumento da concentração de H^+ gera confusões como acreditar que quanto maior o número de hidrogênios em uma substância, maior será o seu caráter ácido, ou seja, o H_3PO_4 aquoso seria considerado um ácido mais forte que o HCl aquoso. Na realidade, o HCl causa maior aumento na concentração de H^+ do que o H_3PO_4 ao reagir com a água, devido às diferentes constantes de dissociação (K_a) desses compostos (Douglas et al., 1994). Os resultados do Quadro 2 revelam que, em comparação com os ácidos, as bases geram menos erros na interpretação. A diferença pode estar relacionada ao fato de que as hidroxilas se assemelham, na simbologia das fórmulas, mais à água do que o H^+ utilizado para representar o H_3O^+ de uma solução ácida. Isso pode dificultar a percepção de que o aumento da concentração de H^+ pode vir da autodissociação da água. Apesar de serem questões diretas, foi deixado um espaço no questionário para que os alunos pudessem argumentar. Nesse espaço, foram escritas muitas frases relevantes para a nossa pesquisa e que comprovam uma visão substancialista de muitos destes alunos.

Um aluno do Grupo A respondeu na primeira questão: “*Sim, pois segundo a teoria de Arrhenius, ácido é a substância capaz de liberar íons H^+ em solução*”. Aqui se percebe o uso do termo liberar, que indica um obstáculo substancialista. O mesmo tipo de obstáculo foi encontrado, em outro questionário desse mesmo grupo, na resposta à segunda questão: “*Sim, pois segundo a teoria de Arrhenius, a base é a substância capaz de liberar íons OH^- em solução aquosa*”.

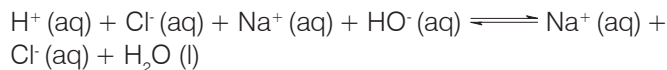
Outra resposta para a segunda questão revela um pensamento essencialmente substancialista, ignorando as possíveis reações entre soluto e solvente: “*Sim, porque para aumentar a concentração do íon, a substância deve apresentar esse mesmo íon*”.

Uma resposta do Grupo B ainda ironiza a primeira pergunta: “*Sim, de onde mais viria o hidrogênio?*”.

Muitos alunos fizeram confusão com outras definições ácido-base, mesmo com o cuidado que tivemos em apresentar a definição ácido-base de Arrhenius no enunciado da questão. A definição de Lewis parece ser a preferida nesse tipo de confusão. Para a segunda questão, um aluno respondeu: “*Não, a basicidade é devido ao par de elétrons disponível do composto. Ex.: NH_3* ”.

A terceira questão trata de outro erro comum em salas de aula. É comum ouvir de estudantes (e de vários professores) que sal é o produto da neutralização de um ácido por

uma base, mesmo em se tratando de reações em solução aquosa. Segundo o formalismo das equações químicas, em se tratando de eletrólitos fortes, podemos cancelar o que há de igual nos dois lados da equação, de modo que na reação de neutralização de soluções aquosas equimolares de HCl e de NaOH, teremos:



Na equação acima, evidentemente podemos cancelar os íons cloreto e sódio, o que nos leva a concluir que o único produto da neutralização de um ácido forte por uma base forte é a água como definiu o próprio Arrhenius (1904). E quanto ao sal? Basta remover a água e serão obtidos cristais de cloreto de sódio, que não é produto de nenhuma reação química, mas sim de um processo de evaporação do solvente, uma vez que os íons sódio e cloreto já estavam presentes na solução.

Para a terceira questão foram obtidas diversas respostas, conforme Gráfico 1.

3ª QUESTÃO

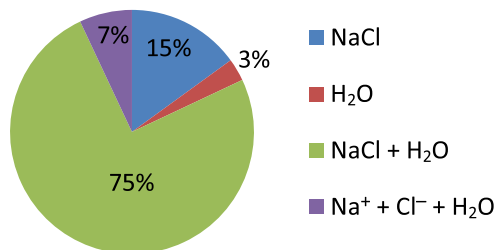


Gráfico 1: Percentuais de respostas na terceira questão, segundo categorias listadas na legenda de cores da figura.

No gráfico, com 75% das respostas, podemos perceber a repetição do erro em considerar o NaCl como um produto da reação. A reprodução desse erro pode estar associada à forma como é ensinado o balanço de massa das equações químicas que, no mais das vezes, desconsidera que eletrólitos fortes em solução tenderão a permanecer em solução. Por exemplo, considerando apenas o balanço de massa envolvido na questão 3, poderíamos escrever:

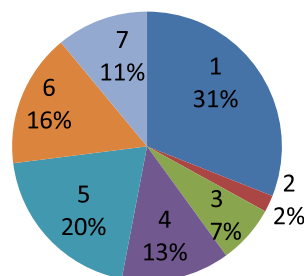


É evidente que, ao ensinar balanço de massa, o professor poderia chamar a atenção para a dissociação das espécies quando as soluções forem diluídas, bem como para o sentido do deslocamento do equilíbrio químico no sentido dos produtos (Lopes, 1995).

A última questão também é direta e, com o auxílio das explicações dadas nos enunciados da primeira e da segunda questão, deveriam facilitar a resolução ou, ao menos, permitir que cada um tivesse uma opinião e respondesse. No entanto, isso não ocorreu, pois nem todos responderam. O ideal

seria que todos respondessem que NH₄Cl e Al₂(SO₄)₃ são ácidos de Arrhenius, pois aumentam a concentração de H⁺ em solução aquosa, já KCN e CaO são bases de Arrhenius, pois aumentam a concentração de OH⁻ em solução aquosa. No Gráfico 2, encontram-se números que equivalem às categorias criadas para as diversas respostas dadas, detalhadas na própria figura.

4ª QUESTÃO



1. Identificaram corretamente os ácidos e as bases; 2. Identificaram corretamente apenas os ácidos; 3. Identificaram corretamente apenas as bases; 4. Identificaram ácidos e as bases de forma errada; 5. Afirmaram não haver ácidos nem bases de Arrhenius; 6. Afirmaram haver ácidos e bases, porém não os identificaram; 7. Não responderam.

Gráfico 2: Percentuais de respostas na quarta questão para cada categoria.

O gráfico mostra que 31% dos alunos conseguiram identificar corretamente os ácidos e as bases, porém outra grande área do gráfico (área 5) revela uma quantidade significativa de interpretações erradas da definição, 20%. Muitos ainda foram contraditórios com as respostas dadas na primeira e na segunda questão, pois ao responderem que ácidos não precisam ter hidrogênio na fórmula e bases não precisam ter hidroxila, deveriam ser capazes de identificar corretamente as substâncias ácidas e básicas incluídas nessa questão. Diversas respostas foram dadas colocando o NH₄Cl como um ácido de Arrhenius, o que é correto, porém as explicações se baseiam no fato de que ele possui hidrogênio em sua fórmula. A seguir, transcrevemos um destes casos: “Sim, NH₄Cl é o único que apresenta H⁺ em sua estrutura e libera o mesmo em água”.

Mais uma vez, pode-se perceber o aparecimento dos obstáculos verbal e substancialista indicado pelo uso do termo liberar. A resposta a seguir chamou a atenção pela forma direta como foi ignorada a possibilidade de que qualquer uma das substâncias, seja um ácido ou uma base, por não possuírem a estrutura que se admite ser característica dessas funções: “Não, pois NH₄Cl, KCN e Al₂(SO₄)₃ são sais e CaO é um óxido”. Essa última resposta mostra como a abordagem do tema funções inorgânicas leva os estudantes somente a se prenderem a classificações quanto à composição, as quais não se traduzem em características semelhantes em reação. Também foi feita uma comparação entre as respostas dadas na quarta questão pelos dois grupos de alunos. O Gráfico 3 apresenta as mesmas categorias inseridas no Gráfico 2 e enumeradas de forma semelhante.

O Gráfico 3 é surpreendente se considerarmos o número de acertos nos questionários respondidos pelo Grupo A, visto que, nas duas primeiras questões, esse grupo apresentou um número de erros bem maior que o outro grupo. A quarta

4ª QUESTÃO

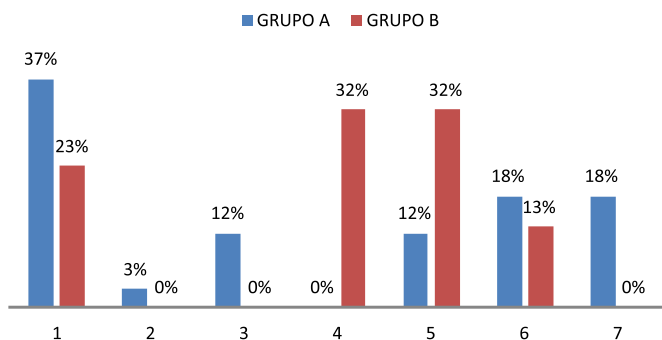


Gráfico 3: Comparação entre as respostas dos grupos A e B na quarta questão. **1.** Identificaram corretamente os ácidos e as bases; **2.** Identificaram corretamente apenas os ácidos; **3.** Identificaram corretamente apenas as bases; **4.** Identificaram ácidos e as bases de forma errada; **5.** Afirmaram não haver ácidos nem bases de Arrhenius; **6.** Afirmaram haver ácidos e bases, porém não os identificaram; **7.** Não responderam.

categoria das respostas se refere àqueles que procuraram caracterizar as substâncias, porém erraram. Nessa categoria, apenas respostas do Grupo B puderam ser aproveitadas. Tais dados revelam que alguns daqueles que responderam corretamente nas duas primeiras questões erraram na quarta, ou seja, ainda estavam confusos sobre a definição ácido-base de Arrhenius.

Algumas conclusões

Quando se buscam maneiras de proporcionar um maior desenvolvimento de nosso sistema de ensino, deve-se fazer a constante crítica dos conteúdos a serem ensinados em sala de aula. Funções inorgânicas é um tópico a ser abolido dos cursos de química do ensino médio e de qualquer outro nível de ensino, cedendo espaço à abordagem dinâmica das reações químicas. Para que tenhamos uma mudança nesse sentido, os livros didáticos devem ser os primeiros a trazerem essas alterações. Seus autores deveriam tomar mais cuidado com os obstáculos criados no desenvolvimento do conteúdo e, ao mesmo tempo, devem ser estimulados a romper com “certas tradições” (Mortimer, 1988). Os obstáculos substancialistas e verbais são frequentes nesses

Quando se buscam maneiras de proporcionar um maior desenvolvimento de nosso sistema de ensino, deve-se fazer a constante crítica dos conteúdos a serem ensinados em sala de aula. Funções inorgânicas é um tópico a ser abolido dos cursos de química do ensino médio e de qualquer outro nível de ensino, cedendo espaço à abordagem dinâmica das reações químicas. Para que tenhamos uma mudança nesse sentido, os livros didáticos devem ser os primeiros a trazerem essas alterações.

livros. Tanto autores de livros quanto professores em sala de aula devem se questionar sobre o uso da palavra liberar, quando esta se refere à definição ácido-base de Arrhenius. Em outras palavras, é correto falar em característica ácida ou característica básica de óxidos e sais *frente a outras substâncias*, mas não em função óxido ou função sal. Além do mais, a definição de Arrhenius da reação fundamental de neutralização ácido-base em solução aquosa não autoriza as funções óxido e sal. Os resultados apresentados neste trabalho demonstram que, em todas as questões, as confusões observadas são em grande medida originadas no pensamento substancialista subjacente às funções inorgânicas. Substâncias consideradas como óxidos podem agir como ácidos ou bases, assim como os sais podem apresentar tais características em reações.

Notas

ⁱ Livre tradução de “[...] acid-base concepts occupy a somewhat nebulous position in the logical structure of chemistry. They are speaking, neither facts nor theories and are, therefore, never really “right” or “wrong”. Rather they are classificatory definitions or organizational analogies. They are useful or not useful ... acid-base definitions are always a reflection of the facts and theories current in chemistry at the time of their formulation and ... they must, necessarily, evolve and change as the facts and theories themselves evolve and change [...]”.

ⁱⁱ Não pretendemos, com isso, dizer que o conhecimento comum, não científico, tenha que ser desprezado, mas, ao contrário, que no ensino de química seja feita a correta distinção entre esses dois conhecimentos, seus campos de atuação e sua relação, que não é nem estanque nem simétrica como discute Michel Paty (2003).

Leonardo A. Silva (leonardoaraujo.s@hotmail.com) é graduado em licenciatura em Química pela UFRJ. Seropédica, RJ - BR. **Ariane L. Larentis** (arianelarentis@fiocruz.br), graduada em Engenharia Química pela UFRGS, mestre e doutora em Engenharia Química pela UFRJ, pós-doutora pelo CENPES, é pesquisadora no Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana (CESTEH) da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca (ENSP) da Fiocruz. Rio de Janeiro, RJ - BR. **Lúcio A. Caldas** (lucio@biof.ufrj.br), graduado em Ciências Biológicas, mestre em Ciências Biológicas (Biofísica) na área de Virologia Molecular, doutor em Ciências Biológicas (Biofísica) na área de Biologia de Protozoários, ambos pelo Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho da UFRJ, é pesquisador pós-doutor na UFRJ. Rio de Janeiro, RJ - BR. **Manuel G. L. Ribeiro** (ribeiro@vm.uff.br), graduado em Ciências Biológicas pela UFRJ, mestre e doutor em Ciências Biológicas (Biofísica) no Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho da UFRJ, é professor adjunto no Departamento de Biologia Celular e Molecular do Instituto de Biologia da UFF. Niterói, RJ - BR. **Rodrigo V. Almeida** (volcan@iq.ufrj.br), graduado em Engenharia Química pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande, mestre e doutor em Engenharia Química pela COPPE - UFRJ, pós-doutor pela UFRJ, é professor adjunto no Departamento de Bioquímica do Instituto de Química da UFRJ. Rio de Janeiro, RJ - BR. **Marcelo H. Herbst** (herbst@ufrj.br), graduado como bacharel em Química pela Universidade Estadual de Londrina e doutor em Química pela Universidade Estadual de Campinas, é professor adjunto no Departamento de Química da UFRJ. Seropédica, RJ - BR. Grupo Interinstitucional e Interdisciplinar de Estudos em Epistemologia, G12E2, www.epistemologia.ufrj.br.

Referências

ARRHENIUS, S. Development of the theory of electrolytic dissociation. *Proceedings of the Royal Institution*, p. 45-58, 1904. Disponível em: www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1903/arrhenius-lecture.pdf. Acesso em: ago. 2013.

BACHELARD, G. *A formação do espírito científico*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2001.

BROUSSEAU, G. Epistemological obstacles, problems, and didactical engineering. In: _____. *Theory of didactical situations in mathematics*. Ed. e Trad. Balacheff, N.; Cooper, M.; Sutherland, R.; Warfield, V. New York: Kluwer, 2002. p. 79-116.

BULCÃO, M. *O racionalismo da ciência contemporânea*. Rio de Janeiro: Antares, 1981.

CAMPOS, R.C.; SILVA, R.C. Funções da química inorgânica... funcionam? *Química Nova na Escola*, n. 9, p. 18-22, 1999.

CHAGAS, A.P. Teorias ácido-base do século XX. *Química Nova na Escola*, n. 9, p. 28-30, 1999.

DOUGLAS, B.; McDANIEL, D.; ALEXANDER, J. *Concepts and models of inorganic chemistry*. 3. ed. New York: Wiley, 1994.

GOMES, H.J.P.; OLIVEIRA, O.B. Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções de átomo. *Ciências & Cognição*, n. 12, p. 96-109, 2007.

JENSEN, W.B. In: MIESSLER, G.L.; TARR, D.A. *Inorganic chemistry*. 3. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2004.

KOTZ, J.C.; TREICHEL JR., P.M. *Química geral e reações químicas*. v. 1. Trad. F. M. Vichi. 5. ed. São Paulo: Thomson, 2005. p. 136-138.

LARENTIS, A.L.; RIBEIRO, M.G.L.; PAIVA, L.M.C.; CALDAS, L.A.; HERBST, M.H.; MOURA, M.V.H.; DOMONT, G.B.; ALMEIDA, R.V. Obstáculos epistemológicos entre pós-graduandos de bioquímica. *Ciências & Cognição*, n. 17, p. 76-97, 2012.

LOPES, A.C. Reações químicas. *Química Nova na Escola*, n. 2, p. 7-9, 1995.

_____. Obstáculos epistemológicos nos livros didáticos de química. In: _____. *Currículo e Epistemologia*. Ijuí: Unijuí, 2007.

MORTIMER, E.F. A evolução dos livros didáticos de química destinados ao ensino secundário. *Em Aberto* (Brasília), a. 7, n. 40, p. 25-41, out./dez. 1988.

NOBEL Prizes. All Nobel prizes in chemistry. Disponível em: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/. Acessado em: ago. 2013.

NOYES, W.A. The achievements of physical chemistry. *Science* n. 92, p. 461-470, 1896.

PATY, M. A ciência e as idas e voltas do senso comum. *Scientiae Studia*, n. 1, p. 9-26, 2003.

RIBEIRO, M.G.L.; LARENTIS, A.L.; CALDAS, L.A.; GARCIA, T.C.; TERRA, L.L.; HERBST, M.H.; ALMEIDA, R.V. On the debate about teleology in biology: the notion of “teleological obstacle”. *História, Ciências, Saúde*. Mangueiras, no prelo.

ROMANELLI, L.I. O papel mediador do professor no processo de ensino-aprendizagem do conceito átomo. *Química Nova na Escola*, n. 3, p. 27-31, 1996.

RUSSEL, J.B. *Química geral*. Trad. D. L. Sanioto e outros. São Paulo: McGraw-Hill, 1982.

Para saber mais

No artigo de Campos e Silva (1999), há uma lista de livros sobre as definições ácido-base cuja leitura é fortemente recomendada.

Recomenda-se também a leitura dos artigos

CHAGAS, A.P. O ensino de aspectos históricos e filosóficos da química e as teorias ácido-base do século XX. *Química Nova*, v. 23, p. 126-133, 2000.

VICHI, E.J.S.; CHAGAS, A.P. Sobre a força de ácidos e bases: algumas considerações. *Química Nova*, v. 31, p. 1591-1594, 2008.

Abstract: *Epistemological obstacles in the teaching-learning of undergraduate General and Inorganic Chemistry: recovery of the Arrhenius acid-base definition and critique of the teaching of “inorganic functions”.* This paper discusses the topic “inorganic functions” present in the general chemistry textbooks and courses, from Bachelard’s notion of epistemological obstacle. The “inorganic functions” (acid, base, oxide and salt) are confused when discussing the Arrhenius acid-base definition: there are oxides that react as acids or bases, and the same occurs with the salts. The accumulation of ratings on the composition causes the settings not only confused as to distort the learning. After all, the acidity and basicity terms are relative to the reactivity, and not to the composition. In a questionnaire answered by undergraduate students of chemistry were detected obstacles related to the “inorganic functions” and to the Arrhenius acid-base definition. The origins of these obstacles are assigned to both the quality of textbooks in high school as the lack of discussion of the epistemological aspects of the topics included in the syllabus of undergraduate chemistry courses.

Keywords: inorganic functions; epistemological obstacles; Acid-base definitions.