

## A definição ácido-base de Arrhenius dos livros-textos de química: a história de um obstáculo epistemológico e suas consequências para o ensino-aprendizagem

Marcelo Herbst

### Resumo

A assim chamada definição ácido-base de Arrhenius, presente em vários livros-textos de Química no Brasil, foi analisada tanto do ponto de vista epistemológico, usando o referencial teórico dos obstáculos epistemológicos de Gaston Bachelard, quanto do ponto de vista histórico, através de pesquisa bibliográfica em publicações originais dos químicos Svante Arrhenius e Justus von Liebig, bem como em materiais relacionados à história das definições ácido-base. O objetivo deste trabalho é contribuir para a problematização do ensino das definições ácido-base, a partir do questionamento da definição atribuída a Arrhenius e amplamente disseminada na comunidade química no Brasil. Não foram encontradas evidências bibliográficas que demonstrem que Arrhenius tenha cunhado alguma definição ácido-base, e a partir dessa constatação é proposto que a definição atribuída a Arrhenius nos livros-textos é uma acomodação/amalgamação da teoria da dissociação eletrolítica de Arrhenius com a longa definição de Liebig para ácidos, baseada na presença de hidrogênio e aceita pelos químicos no século XIX. Argumenta-se que a definição ácido-base atribuída a Arrhenius nos livros-textos é também errônea, uma vez que soluções aquosas ácidas ou básicas podem ser preparadas sem a adição de solutos contendo íons hidrogênio ou hidroxila. É proposto que o obstáculo epistemológico substancialista representado pela exigência de hidrogênio na composição dos ácidos foi responsável pela transferência de fidelidade da definição de ácidos de Liebig para a teoria iônica de Arrhenius, uma vez que esta pode explicar a reatividade de ácidos e eletrólitos em geral em solução aquosa. As consequências do ensino da errônea definição ácido-base atribuída a Arrhenius são discutidas, e estratégias didáticas para o ensino das definições ácido-base no ensino médio e nos cursos de formação inicial e continuada de professores de química e ciências são apresentadas.

**Palavras-chave:** Definições ácido-base, Ensino-aprendizagem, Objetivo-obstáculo.

### Abstract

The so-called Arrhenius acid-base definition, present in several Chemistry textbooks in Brazil, was analyzed both from an epistemological point of view, using Gaston Bachelard's theoretical framework of epistemological obstacles, and from a historical point of view, through bibliographic research on original publications by chemists Svante Arrhenius and Justus von Liebig, as well as on materials related to the history of acid-base definitions. The objective of this work is to contribute to the problematization of the teaching of acid-base definitions, from the questioning of the definition attributed to Arrhenius and widely disseminated in the chemical community in Brazil. No bibliographic evidence was found to demonstrate that Arrhenius coined any acid-base definition, and from this finding it is proposed that the definition attributed to Arrhenius in textbooks is an accommodation/amalgamation of Arrhenius' electrolytic dissociation theory with the long-lived Liebig's definition for acids, based on the presence of hydrogen and accepted by chemists in the 19th century. It is argued that the acid-base definition attributed to Arrhenius in textbooks is also erroneous, since acidic or basic aqueous solutions can be prepared without the addition of solutes containing hydrogen or hydroxyl ions. It is proposed that the substantialist epistemological obstacle represented by the hydrogen requirement in the composition of acids was responsible for the transfer of fidelity from the Liebig definition of acids to the Arrhenius ionic theory, since this can explain the reactivity of acids and electrolytes in general in aqueous solution. The consequences of teaching the erroneous acid-base definition attributed to Arrhenius are discussed, and didactic strategies for teaching acid-base definitions in high school and in initial and continuing education courses for Chemistry and Science teachers are presented.

**Keywords:** *Acid and base definitions, Teaching-learning, Objective-obstacle.*

## INTRODUÇÃO

As definições ácido-base ocupam uma posição de destaque na Química, e sua cronologia segue aproximadamente os avanços teóricos e práticos na Química e nas ciências e técnicas correlatas<sup>1</sup>. Todavia, independentemente da sofisticação das definições ácido-base, elas operam numa espécie de limbo epistemológico, posto que não são, a rigor, nem teorias, nem conceitos<sup>2</sup>. Historicamente essas definições se baseiam em diferentes respostas para uma mesma questão – o que é um ácido?

É bastante conhecido que o oxigênio de Lavoisier (Antoine-Laurent de Lavoisier, 1743-1794) foi a primeira tentativa de explicar as propriedades ácidas ou básicas das soluções em termos de um elemento específico, ou seja, em termos de um princípio da acidificação. Isso representou uma imensa evolução na compreensão da acidez, uma vez que as explicações anteriores eram predominantemente baseadas nas propriedades sensoriais das soluções e/ou na mudança de cor de indicadores<sup>3</sup>. Todavia, é interessante notar que, segundo a definição do próprio Lavoisier, os ácidos genuinamente lavoisierianos eram, na realidade, compostos modernamente classificados de óxidos de não metais.

Em contraste, os compostos oxigenados que não são ácidos foram chamados de óxidos por Lavoisier, e englobam os compostos modernamente chamados de óxidos de elementos metálicos. Esta é, possivelmente, a origem da confusa classificação dos óxidos em ácidos, básicos, neutros, anfóteros *etc.* Para citar Walden<sup>3</sup>, “a divisão dos óxidos em ácidos e metálicos não ácidos é em si mesma uma contradição da ideia fundamental de que o oxigênio é o ‘princípio da acidificação’” (tradução minha).

Contemporâneo de Lavoisier, Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) foi o responsável pela descoberta, em 1774, de um gás verde pálido, obtido a partir do ‘ácido marinho’ (o ácido clorídrico) chamado por ele de ‘ácido marinho desflogisticado’. O nome ‘ácido muriático’ (do latim *muria*, sal) havia sido dado por Lavoisier ao ácido marinho e, uma vez que, segundo Lavoisier, todos os ácidos deveriam conter oxigênio, o ácido muriático seria composto de oxigênio e de um radical, chamado de ‘radical ou

---

<sup>1</sup>Aécio P. Chagas, “O ensino de aspectos históricos e filosóficos da química e as teorias ácido-base do século XX”. *Química Nova*, 23, (2000): 126-133.

<sup>2</sup>William B. Jensen, *The Lewis Acid-Base Concepts*, New York: Wiley-Interscience, 1980, p. vii. apud. Gary L. Miessler & Donald A. Tarr, *Inorganic chemistry*. 3<sup>rd</sup> Ed. Upper Saddle River: Pearson, 2004. Faço a ressalva de que essa afirmação não se aplica às teorias ácido-base da físico-química, porém elas foram desenvolvidas para quantificar as interações entre os ácidos e as bases, e não somente para definir essas substâncias.

<sup>3</sup>Paul Walden, “Salts, acids and bases”. In: *The George Fisher Baker Non-Resident Lectureship in Chemistry at Cornell University*. Vol. 4, 27-77. New York: McGraw-Hill, 1929. Para um histórico das definições de ácidos, ver também: Marcos P. Silva, Maria A. Santiago, “Proposta para o ensino dos conceitos de ácidos e bases: construindo conceitos através da História da Ciência combinada ao emprego de um software interativo de livre acesso”. *História da Ciência e Ensino: construindo interfaces*, 5, (2012): 48-82.

base muriática'. Assim, para Lavoisier, o gás descoberto por Scheele deveria conter oxigênio, ou seja, o gás cloro seria um composto de oxigênio e ácido clorídrico, o 'ácido oximuriático'.<sup>4</sup>

A descoberta desse gás (isto é, o gás cloro) impulsionou importantes pesquisas, como as realizadas por Davy (Humphry Davy, 1778-1829) a partir de 1810 sobre o ácido oximuriático, que levaram ao isolamento e caracterização do primeiro hidrácido forte, o ácido clorídrico, e à conclusão de que a acidez não depende da presença de oxigênio<sup>5</sup>. Davy propôs o nome cloro (do grego, verde-pálido) para o gás descoberto por Scheele, e sustentou seu ponto de vista contrário à teoria do oxigênio frente a nomes de peso na Química de sua época, como Berzelius<sup>6</sup> (Jöns Jacob Berzelius, 1779-1848). Para Berzelius, ácidos e bases eram compostos de oxigênio, ou óxidos, que modernamente chamamos de anidridos, o que tacitamente descarta o oxigênio como "princípio acidificante". Segundo Walden<sup>7</sup>, o dualismo eletroquímico de Berzelius considerava ácidos os óxidos que migram para o polo positivo, ou seja, que estão combinados com eletricidade negativa, enquanto os óxidos que se combinam com eletricidade positiva, ou se decompõem no polo negativo, são chamados de bases.

Todavia, a partir da descoberta dos ácidos clorídrico, iodídrico, cianídrico, entre outros hidrácidos, a ideia de o oxigênio ser o princípio da acidificação (Lavoisier), ou mesmo de que ácidos seriam anidridos (Berzelius), perdeu força, ao mesmo tempo em que uma nova teoria se fortaleceu. Como a nova família de ácidos não contém oxigênio, porém contém hidrogênio, tornou-se usual compreender a acidez nos seguintes termos, citando Hall<sup>8</sup>: "Um ácido deve ser um composto de hidrogênio, mas nem todos os compostos de hidrogênio são ácidos" (tradução minha).

Justus von Liebig (1803-1873) foi o responsável por uma das mais longevas definições de ácido. Em suas pesquisas sobre ácidos orgânicos, ele vislumbrou semelhanças desses compostos com os ácidos minerais, e propôs, explicitamente apoiando as ideias de Davy, que o metal (ou o óxido metálico) desloca o hidrogênio do ácido, formando um sal com o radical do ácido e gás hidrogênio (ou o oxigênio do óxido metálico se combina com o hidrogênio para formar água). Na forma de equações<sup>3</sup>:



Claramente, a reatividade de um ácido, para Liebig, provém do hidrogênio lábil, não importando se o ácido contém ou não oxigênio, o que permitiu estender a nova definição aos ácidos orgânicos, que

<sup>4</sup> Ibid., 53.

<sup>5</sup>F. Michael Akeroyd, "A Challenge to the followers of Lakatos". *The British Journal for the Philosophy of Science*, 37, (1986): 359-362.

<sup>6</sup> Curiosamente, embora Humphry Davy tenha contribuído para demolir a teoria do oxigênio para os ácidos, ele próprio não cunhou nenhuma definição de ácido. Na referência 7, Hall, p.124, citando Davy, mostra um ponto de vista bastante moderno sobre o tema: "acidity does not depend on any particular substance, but on the array of several peculiar substances".

<sup>7</sup>Walden, 58-59.

<sup>8</sup>Norris F. Hall, "Systems of acids and bases". *Journal of Chemical Education*, 17, (1940): 124-128.

naturalmente apresentam padrões de reatividade absolutamente distintos dos demais compostos orgânicos oxigenados e, principalmente, diferem dos padrões de reatividade dos hidrocarbonetos. Sobre os ácidos orgânicos, Liebig distinguiu três classes: os que neutralizam um átomo de uma base, os que se combinam com dois átomos de uma base, e, finalmente, aqueles que neutralizam três átomos de uma base<sup>9</sup>. Dessa classificação advém a denominação de ‘ácidos monobásicos, dibásicos’, etc<sup>10</sup>. infelizmente ainda em uso.

Desta forma Liebig definiu, no clássico artigo de 1838, os ácidos como “certos compostos de hidrogênio em que o hidrogênio pode ser substituído por metais”<sup>11</sup> (tradução minha).

Como destacado por Akeroyd<sup>12</sup>, a teoria do hidrogênio de Liebig para os ácidos tem vários problemas conceituais, como as diferentes reatividades de ácidos concentrados e diluídos, a aparente correlação entre a quantidade de oxigênio e a acidez, e, talvez o ponto mais fraco da teoria, o fato de que ácidos polipróticos são geralmente mais fracos do que os monopróticos. É interessante notar que esses problemas não são diferentes daqueles enfrentados rotineiramente pelos professores de química ao trabalhar em sala de aula a definição ácido-base atribuída a Arrhenius.

Todavia, por mais de 50 anos a teoria do hidrogênio de Liebig para os ácidos foi usada pelos químicos, sem um entendimento claro do porquê os ácidos tinham que conter hidrogênio. Citando novamente Hall<sup>8</sup>, tal longevidade da teoria do hidrogênio de Liebig para os ácidos foi ajudada “...simultaneamente pelo crescimento da química orgânica estrutural e pela crescente importância na química inorgânica das reações em solução aquosa...” (tradução minha).

### Entra em cena a teoria iônica

O surgimento da área da Química chamada de físico-química remonta ao último quartel do século XIX, e segundo a tradição, seus fundadores foram Wilhelm Ostwald, J. H. van't Hoff, Walther H. Nernst e Svante Arrhenius<sup>13</sup>.

Apesar das inegáveis contribuições de Ostwald, van't Hoff, e Nernst, coube a Svante Arrhenius (1859-1927) apresentar a teoria iônica das soluções eletrolíticas em sua forma acabada, o que lhe rendeu o Prêmio Nobel em Química de 1903<sup>14</sup>. Sua contribuição foi decisiva para a compreensão de fenômenos

---

<sup>9</sup> A palavra “átomo” aqui assume o significado de “equivalente”.

<sup>10</sup>Justus F. Liebig, “Über die Constitution der organischen Säuren”. *Annalen der Pharmacie*, 26, (1838): 113-189. <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/toc/10990690c/1838/26/2> (Acessado em 24 fev 2022)

<sup>11</sup>Ibid., 181.

<sup>12</sup>F. Michael Akeroyd, “Laudan’s problem solving”, *The British Journal for the Philosophy of Science*, 44, (1993): 785-788.

<sup>13</sup>Richard S. Root-Bernstein, “*The Ionists: Founding Physical Chemistry, 1872-1890*”. Ph. D. Dissertation, Princeton University, 1980.

<sup>14</sup>Svante Arrhenius, Nobel Lecture. “Development of the theory of electrolytic dissociation”. *Proceedings of the Royal Institution*, (1904): 45-58.

como a correspondência entre a força dos ácidos e bases e o 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 a diminuição da concentração que um gás com a diminuição da pressão<sup>15</sup>.

Ao leitor interessado nos detalhes do desenvolvimento da teoria iônica é recomendada a leitura de dois trabalhos aprofundados sobre o tema, uma biografia de Arrhenius, publicada por Elisabeth Crawford em 1996, e a história dos chamados Ionistas, investigada por Robert Scott Root-Bernstein em sua tese de doutorado<sup>13</sup>.

Crawford<sup>16</sup> afirma que: “...the [ionic] theory also helped clear up one of the most tenacious problems in chemistry, namely, the nature of acids. Following the ionic theory, acids were defined as substances that produce hydrogen ions when dissociated in water”.

O ponto central, já exposto e defendido em outros trabalhos<sup>17</sup>, é que, como destacado por Crawford, “[to] produce hydrogen ions when dissociated in water” não implica que um ácido deva conter hidrogênio, uma vez que o solvente pode prover esses íons mediante reações de hidrólise<sup>18</sup>.

Ao longo da preparação deste texto, tanto os supracitados trabalhos de Crawford e de Root-Bernstein, como os artigos originais publicados por Arrhenius no primeiro fascículo da então recém-criada *Zeitschrift für Physikalische Chemie*<sup>19</sup>, sua conferência de agradecimento pelo Prêmio Nobel de Química<sup>14</sup>, sua *Silliman Lecture* de 1911<sup>20</sup>, foram consultados. Além desses artigos e conferências, foi consultada a coletânea de seminários de Arrhenius em Berkeley, de 1906, publicada como *Theories of Chemistry*, em 1907<sup>21</sup>. Em nenhum desses materiais foi encontrada alguma definição explícita de ácidos.

É interessante destacar que o desconforto com a permanência da chamada teoria do hidrogênio para os ácidos não é recente, como mostra Lewis (Gilbert Newton Lewis, 1875-1946) numa conferência apresentada no Franklin Institute em 1938<sup>22</sup>, coincidentemente um século após a publicação da definição de Liebig:

---

<https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/arrhenius-lecture.pdf>. (Acessado em 08 de março de 2022).

<sup>15</sup>William A. Noyes, “The Achievements of physical chemistry”. *Science*, 92, (1896): 461-470.

<sup>16</sup>Elisabeth Crawford, *Arrhenius – From Ionic Theory to the Greenhouse Effect*. Canton: Science History Publications, 1996.

<sup>17</sup>AUTOR *et al.*, 2014.

<sup>18</sup>Ver, p. ex. Bodie Douglas, Daniel McDaniel, & John Alexander, *Concepts and models of inorganic chemistry*. 3<sup>rd</sup> ed., New York: Wiley, 1994.

<sup>19</sup>Svante Arrhenius, “Über die Dissociation der in Wasser gelösten Stoffe”. *Zeitschrift für physikalische Chemie*, 1, (1887): 631-649. <https://zenodo.org/record/1448928/files/article.pdf> (Acessado em 19 de maio de 2022).

<sup>20</sup>Svante Arrhenius, “Electrolytic Dissociation”. *Journal of the American Chemical Society*, XXXIV, (1912): 353-364.

<sup>21</sup>Svante Arrhenius, *Theories of Chemistry*, London: Longmans, Green, and Co., 1907.

<http://cesimadigital.pucsp.br/handle/bcd/3363> (Acessado em 18 de maio de 2022).

<sup>22</sup>Gilbert N. Lewis, “Acids and bases”. *The Journal of the Franklin Institute*, 226, (1938): 293-313.

*During the nineteenth century it became the fashion to regard hydrogen as an indispensable constituent of an acid, and finally the concept of acids and bases became so much restricted that in the minds of some of the early advocates of the ionic theory the only acid was an aqueous solution containing hydrogen ion, and the only base an aqueous solution containing hydroxide ion.*

E então conclui, enfaticamente: “Restringir o grupo dos ácidos àquelas substâncias que contém hidrogênio interfere tão seriamente com a compreensão sistemática da química quanto seria restringir o termo agente oxidante às substâncias que contém oxigênio.”<sup>23</sup> (tradução minha)

Baseado nas considerações acima, o objetivo deste texto é contribuir para:

- a problematização do ensino das definições ácido-base, a partir do questionamento da definição atribuída a Arrhenius e amplamente disseminada na comunidade química no Brasil. Tal questionamento foi feito através de pesquisa bibliográfica em trabalhos originais de Arrhenius e Liebig, e em materiais sobre a história das definições ácido-base;

- a discussão dos problemas epistemológicos associados com a assim chamada definição ácido-base de Arrhenius no ensino-aprendizagem da química das soluções aquosas, a partir da noção bachelardiana de obstáculo epistemológico e da estratégia didática de objetivo-obstáculo;

- a história da acomodação/amalgamação da teoria iônica de Arrhenius no contexto da teoria do hidrogênio de Liebig para os ácidos, como um exemplo de obstáculo epistemológico.

## ÁCIDOS E BASES EM SALA DE AULA

Apesar de atualmente as definições ácido-base modernas serem ensinadas nos cursos e aulas de Química, em vários estados brasileiros, como por exemplo, no Rio de Janeiro, a chamada definição ácido-base de Arrhenius é trabalhada no ensino médio, geralmente em conjunto com um anacronismo conhecido por funções inorgânicas<sup>24</sup>.

Em minha trajetória como professor dos cursos de Química Geral e Inorgânica no nível superior deparei-me com várias implicações dos tópicos mencionados acima como dificuldades adicionais no ensino-aprendizagem da reatividade das soluções aquosas, incluindo hidrólise e equilíbrio químico.

Como mencionado anteriormente, não há fonte bibliográfica que evidencie que Arrhenius tenha definido – no sentido de outras definições ácido-base – o que é um ácido ou o que é uma base. No entanto, muitos livros-textos do ensino médio (e, em menor número, livros-textos de Química Geral para os cursos de graduação) apresentam alguma forma da ‘definição ácido-base de Arrhenius’. Geralmente, tais definições afirmam que ácidos são compostos que contém hidrogênio, e que liberam íons hidrogênio em solução aquosa. As bases, segundo tais definições, são compostos que contém hidroxila, e que

<sup>23</sup>Ibid., 297.

<sup>24</sup>Reinaldo C. Campos, Reinaldo C. Silva, “Funções da química inorgânica... funcionam?” *Química Nova na Escola*, 9, (1999): 18-22.

liberam íons hidroxila em solução aquosa. Como corolário, um sal é definido nesses livros-textos com o produto da neutralização de um ácido por uma base, sempre em solução aquosa<sup>17</sup>. Cabe destacar que, para Arrhenius o único produto genuíno de uma reação de neutralização completa de um ácido com uma base é a água. Em *Theories of Chemistry*, no capítulo dedicado ao tema da dissociação eletrolítica, Arrhenius explicitamente expõe sua compreensão sobre ácidos e bases:

*On mixing equivalent quantities of a very dilute strong acid and a very dilute strong base, the following equation holds good:  $H^+ + A^- + X^+ + OH^- = X^+ + A^- + H_2O$ .*

*The two symbols  $X^+$  and  $A^-$  together represent the salt, which is completely dissociated at high dilutions. The neutralization of a strong acid by a strong base corresponds to the formation of water from its component ions,  $H^+$  and  $OH^-$ .<sup>25</sup>*

É importante destacar dois trechos da citação acima (tradução minha): “Os dois símbolos  $X^+$  e  $A^-$  juntos representam o sal, o qual está completamente dissociado em altas diluições”, e “A neutralização de um ácido forte por uma base forte corresponde à formação de água a partir de seus íons componentes,  $H^+$  e  $OH^-$ .” Esses dois trechos, escritos pelo próprio Arrhenius, bastariam para colocar em suspeição a assim chamada definição ácido-base atribuída a ele nos livros-textos de química.

Claramente, para os estudantes do ensino médio, e mesmo para os estudantes de Química ingressantes no curso, tais definições errôneas se prestam a induzi-los a inspecionar a fórmula dos compostos, buscando por um H do lado esquerdo, no caso dos ácidos, ou por um OH do lado direito, no caso das bases, não importando o estado físico dos reagentes, ou os produtos das reações, ou mesmo o grau de ionização de reagentes e produtos.

Outra observação recorrente é que quando solicitados a indicar qual oxiácido é mais forte em solução aquosa,  $H_3PO_4$  ou  $HNO_3$ , os estudantes tendem a preferir o ácido fosfórico, devido ao maior número de hidrogênios em sua fórmula.

Num trabalho anterior<sup>17</sup>, demonstramos que estas definições equivocadas constituem tanto problemas históricos sobre os quais ainda não se pesquisou, como obstáculos epistemológicos para o ensino-aprendizagem da reatividade química em soluções aquosas de eletrólitos. Por exemplo, estudantes de graduação em química foram convidados a indicar ácidos e bases em equações químicas balanceadas que ocorrem em água como solvente, e cujos produtos são, entre outros,  $H^+$  ou  $OH^-$ , mas os reagentes não contêm tais íons em suas fórmulas. Em sua grande maioria, os estudantes não foram capazes de responder corretamente. Os mesmos estudantes, quando perguntados sobre qual é o produto da neutralização de soluções aquosas equimolares de HCl e NaOH, tendem a responder somente NaCl, ignorando a formação de água.

A partir da noção bachelardiana de obstáculo epistemológico, foram detectados os obstáculos substancialista e verbalista na assim chamada definição ácido-base de Arrhenius. Em *A formação do*

---

<sup>25</sup> Arrhenius, 182.

*espírito científico*, Bachelard<sup>26</sup> discute os obstáculos epistemológicos e estabelece que “...é em termos de obstáculos que o problema do conhecimento científico deve ser colocado”, e “(...) o pensamento empírico torna-se claro depois, quando o conjunto de argumentos fica estabelecido.”

Além disso, Bachelard<sup>27</sup> nos diz que “No fundo, o ato de conhecer dá-se contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que, no próprio espírito, é obstáculo à espiritualização.”

Em linhas gerais, o obstáculo verbal implica no uso indiscriminado na linguagem científica de palavras, analogias, imagens, metáforas e jargões. O obstáculo substancialista, por sua vez, engloba a identificação de características apenas evidentes, profundas ou superficiais, de um material, com suas propriedades intrínsecas, pela supressão de suas relações. De acordo com Bachelard<sup>28</sup>, “A idéia substancialista quase sempre é ilustrada por uma simples continência. É preciso que algo contenha, que a qualidade profunda esteja contida.”

Para além do substancialismo inerente às definições de ácido baseadas em algum elemento químico, cabe notar que tanto a teoria do oxigênio de Lavoisier, como a teoria do hidrogênio de Liebig representaram avanços significativos na estrutura conceitual da Química. Para citar Thagard<sup>29</sup>:

*The rule that acids typically have hydrogen as a constituent is far more important than the observation, dating from at least the seventeenth century, that acids turn litmus red. The litmus rule has been useful to generations of chemistry students, but plays no role in locating the concept of acid in conceptual hierarchies or in generating explanations of the experiments involving acids.*

Sobre a noção de obstáculo epistemológico, é importante destacar que um obstáculo é, de fato, um conhecimento, e não uma dificuldade ou uma falta de conhecimento. Como destacado por Ribeiro *et al.*<sup>30</sup>, esse conhecimento é capaz de produzir respostas adaptadas a certos problemas, mas ele também produz respostas falsas a outros tipos de problemas. Ele é o tipo de conhecimento que resiste às contradições frente às quais é colocado, bem como ao estabelecimento de um novo conhecimento. Ele resiste às mudanças como resultado de sua capacidade de explicação, ou, em outras palavras, devido à sua posição conceitual num dado sistema de conhecimentos, e é caracterizado por manifestações

---

<sup>26</sup>Gaston Bachelard, *A Formação do Espírito Científico. Contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Trad. Estela dos. S. Abreu, Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

<sup>27</sup>Ibid.

<sup>28</sup>Ibid., 123.

<sup>29</sup>Paul Thagard, “Concepts and Conceptual Change”. *Synthese*, 82, (1990): 255-274. Cabe notar que aparentemente Thagard não compreendeu que quando os químicos falam de ácidos, hidrogênio e próton são sinônimos, pois ele escreve que *The Brønsted-Lowry account characterizes an acid as a substance that donates protons, so that having hydrogen as a part is no longer essential.*

<sup>30</sup> Manoel. G. L. Ribeiro, Ariane. L. Larentis, Lúcio. A. Caldas, Tomás. C. Garcia, Letícia. L. Terra, Marcelo. H. Herbst, Rodrigo. V. Almeida, “On the debate about teleology in biology: the notion of “teleological obstacle””. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, 22, (2015): 1321-1333.



recorrentes. A rejeição desse conhecimento e a conseqüente superação do obstáculo epistemológico levarão ao estabelecimento de um novo conhecimento, necessariamente com novos obstáculos epistemológicos a serem superados.

### Superando os obstáculos epistemológicos em sala de aula

Para superar o obstáculo epistemológico substancialista da teoria do hidrogênio para os ácidos, foi desenvolvida uma estratégia de ensino-aprendizagem baseada na didática do objetivo-obstáculo<sup>31</sup>. Tal estratégia utiliza a experimentação, e os estudantes são convidados a verificar, com o uso de indicadores, se soluções aquosas de solutos que não contêm hidrogênio ou hidroxila (p. ex.  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , KCN, NaCl, etc.) são ácidas, neutras ou básicas, e a explicar os resultados com base na teoria iônica<sup>32</sup>.

Sequências didáticas foram desenvolvidas para superar obstáculos epistemológicos no processo de ensino-aprendizagem de ácidos e bases, adotando a fragilização ou o contorno dos obstáculos. A estratégia de contornar um obstáculo foi adotada ao não ensinar a definição ácido-base de Arrhenius como consta nos livros-textos, enquanto a estratégia de fragilização foi baseada na proposição de problemas sobre o tema com os estudantes que haviam tido contato com a definição padrão dos livros-textos, com o objetivo de gerar questionamentos, preferencialmente de forma coletiva, sobre explicações aceitas, com o objetivo de avançar na construção de novos conhecimentos. Na turma na qual a estratégia de contorno dos obstáculos foi adotada, houve melhor rendimento, corroborando a ideia de que a estratégia de contorno é mais eficiente do que a fragilização, ou, em outras palavras, o obstáculo substancialista encontra-se bastante arraigado nos estudantes.

Em *Conceptos clave en la didáctica de las disciplinas*, Astolfi<sup>33</sup> discute que um conflito cognitivo surge quando um indivíduo se depara com contradições entre suas ideias, suas representações e suas ações. O conflito sócio-cognitivo, por sua vez, está relacionado às experiências vividas em conjunto, onde exemplos de uns podem servir de aprendizado para outros. No caso relatado acima, a estratégia didática de fragilização do obstáculo epistemológico relacionado à definição ácido-base de Arrhenius não resultou na superação desse obstáculo, reforçando o quão importante é a reflexão epistemológica sobre os conteúdos trabalhados em sala de aula.

### A DEFINIÇÃO ÁCIDO-BASE DE ARRHENIUS: UM AMÁLGAMA CONCEITUAL?

<sup>31</sup> Jean-Pierre Astolfi, "El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos". *Enseñanza de las Ciencias*, 12, (1994): 206-216.

<sup>32</sup> AUTOR *et al.*, 2017.

<sup>33</sup> Jean-Pierre Astolfi, *Conceptos clave en la didáctica de las disciplinas. Referencias, definiciones y bibliografías de didáctica de las ciencias*. Sevilla: Díada editora, 2001.

Desconheço publicações que investiguem como o trabalho de Arrhenius sobre a teoria da dissociação eletrolítica e sobre a reatividade de ácidos foi acomodada na teoria do hidrogênio para os ácidos, de Liebig. Entendo que seja uma questão em aberto para a História e Filosofia da Química, e certamente uma abordagem da Natureza da Ciência poderia contribuir para elucidar essa questão<sup>34</sup>. Ao mesmo tempo, sustento ser legítimo assumir que o substancialismo associado ao hidrogênio teve um papel central nesse processo.

O pensamento de Arrhenius era em termos de acidez ou basicidade das soluções aquosas, e os íons oriundos da autodissociação do solvente agiam como reagentes, com a água sendo o único produto genuíno de uma reação de neutralização completa de um ácido por uma base<sup>14</sup>. Ao pensar desta forma, Arrhenius não precisou definir *a priori* ácidos e bases como substâncias com propriedades intrínsecas, ou seja, pensou a acidez como uma propriedade relacional.

No entanto, muitos, senão a maioria de seus contemporâneos, inclusive Ostwald, co-autor da teoria iônica, era partidário da teoria do hidrogênio para os ácidos: “[...] acids are hydrogen compounds which are characterized by the fact that hydrogen is removed when metals are allowed to act upon them...”

Segundo Walden<sup>35</sup>, a definição acima figura no livro-texto de Ostwald, *Grundlinien der Anorganischen Chemie* [Fundamentos de Química Inorgânica], de 1919, cuja primeira edição data de 1900. Da mesma forma, ainda segundo Walden<sup>36</sup>, mesmo Mendeleev, reconhecidamente um oponente da teoria iônica, escreveu sobre os ácidos em seu influente livro-texto *Principles of Chemistry*, editado pela primeira vez em 1868 e reeditado até 1906: “An acid is nothing more than a hydrogen salt.”

Esses dois exemplos são emblemáticos a respeito da imensa influência dos livros-textos na propagação e sedimentação de conceitos, formando gerações de químicos.

Argumento que a definição ácido-base que emergiu da acomodação/amalgamação entre as teorias de Liebig e Arrhenius é um exemplo genuíno de obstáculo epistemológico. Os cientistas – principalmente os químicos, resistiram a mudar seus conceitos ao incorporar/acomodar novos fenômenos e novos avanços teóricos aos seus arcabouços conceituais pré-existentes, dado que, no sistema de conhecimentos então vigente – a química das primeiras décadas do século XX, a definição de Liebig/Arrhenius se mostrava suficiente para grande parte dos problemas, com exceção das reações da química orgânica, como destacado no protesto de Lewis<sup>22</sup>. Seria necessário incorporar os aportes da mecânica quântica para que um entendimento mais aprofundado da natureza dos ácidos e bases pudesse emergir, notadamente a partir dos anos 1950<sup>37</sup>.

---

<sup>34</sup> Walden, 64-69, lista apoiadores de renome da teoria do hidrogênio para os ácidos: C. Gerhardt, A. Kekulé, H. Kolbe, D. Mendeleev e W. Ostwald.

<sup>35</sup> Ibid., 68.

<sup>36</sup> Ibid.

<sup>37</sup> Linus Pauling, *The Nature of the Chemical Bond*, 3<sup>rd</sup> Ed., New York: Cornell University Press, 1960.

Gostaria de enfatizar que meu argumento não significa que, como Arrhenius não cunhou nenhuma definição ácido-base explícita, com isso eu entenda que ele próprio não tivesse nenhuma nova ideia sobre o assunto, ou que seu trabalho tenha sido interpretado erroneamente por praticamente todos os químicos e historiadores da Química. Ao contrário, sustento que enquanto parte da físico-química clássica, isto é, pré-química quântica, a teoria das soluções eletrolíticas tal qual formulada por Arrhenius correspondia ao *Zeitgeist* da química de sua época, e forneceu as bases para os desenvolvimentos posteriores.

Não está em discussão que o conceito de acidez tem uma longa e rica história, para a qual diferentes tradições de pesquisa contribuíram, como brilhantemente demonstrado por Gama e Afonso<sup>38</sup>, Chang<sup>39</sup>, e Ruthenberg e Chang<sup>40</sup>, nem tampouco que este conceito tenha continuado a ser desenvolvido após a amalgamação das teorias de Liebig e Arrhenius. O que quero problematizar é o fato de que a teoria do hidrogênio para os ácidos ainda persiste, com profundas implicações para o ensino-aprendizagem de reatividade em solução aquosa.

Para lançar alguma luz sobre o processo em discussão, recorro novamente a Thagard<sup>41</sup>, que lista alguns aspectos que deveriam ser abarcados pelos conceitos, a saber: categorização, aprendizagem, memória, inferência dedutiva, explicação, resolução de problemas, generalização, inferência analógica, e compreensão e produção de linguagem. Creio que a teoria do hidrogênio para os ácidos (Liebig) – ou mais exatamente essa definição de ácido, cobre todos menos um dos aspectos listados, qual seja, a explicação.

Seguindo meu argumento, com a acomodação da teoria iônica de Arrhenius, e sua explicação para a acidez em soluções aquosas, a definição de ácido de Liebig foi elevada a um novo e mais amplo patamar pelos químicos. A definição amalgamada de ácido que emergiu desse processo resistiu a mudanças conceituais devido ao seu poder explicativo, o que caracteriza um obstáculo epistemológico.

Naturalmente, o papel dos livros-textos enquanto argumento de autoridade era, como ainda é, fundamental tanto para a difusão de novos conhecimentos, como, no caso em discussão, para sedimentar um obstáculo epistemológico.

A construção e/ou o deslocamento de conceitos químicos é um processo permanente, e claramente o termo 'ácido' é carregado de polissemias e fonte de vários obstáculos epistemológicos – uma advertência aos colegas professores de química.

---

<sup>38</sup> Michelle S. Gama, Júlio C. Afonso, "De Svante Arrhenius ao peagâmetro digital: 100 anos de medida de acidez". *Química Nova*, 30, (2007): 232-239.

<sup>39</sup> Hasok Chang, "The Persistence of the Everyday in the Scientific". *Philosophy of Science*, 79, (2012): 690-700.

<sup>40</sup> Klaus Ruthenberg, Hasok Chang, "Acidity: Modes of characterization and quantification". *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 65, (2017): 121-131.

<sup>41</sup> Thagard, 258-259.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Arrhenius não cunhou nenhuma definição ácido-base, ainda que tenha tido um papel decisivo sobre o tema, ao desenvolver uma teoria das soluções eletrolíticas que explicou a reatividade em solução aquosa. A assim chamada definição ácido-base de Arrhenius presente nos livros-textos de química é uma espécie de amálgama da longa teoria do hidrogênio para os ácidos, de Liebig, com a teoria das soluções eletrolíticas, de Arrhenius. Como os íons  $H^+$  são de fato a condição necessária para a observação/medição de acidez em soluções de ácidos comuns como  $CH_3COOH$ ,  $HNO_3$  ou  $HCl$ , a teoria iônica em algum nível trouxe fundamentação para a teoria de Liebig, tão cara aos químicos, e reproduzida nos livros-textos. A questão é que, como qualquer professor de química sabe, soluções aquosas podem ser ácidas sem a adição de íons  $H^+$ . Desta forma, continuar a ensinar uma definição errônea de ácido baseada no hidrogênio, ainda mais atribuindo tal definição a quem não a enunciou, apenas enrijece o ensino de química e reforça o obstáculo epistemológico substancialista, o que por sua vez causa maiores dificuldades para o ensino-aprendizagem de reatividade em soluções aquosas. Como demonstrado ao longo do texto, não é por falta de metodologias didáticas que permanece esse estado de coisas.

### **SOBRE O AUTOR:**

Marcelo Herbst  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
[herbst@ufrj.br](mailto:herbst@ufrj.br)

Artigo recebido em 08 de março de 2022  
Aceito para publicação em 17 de maio de 2022