

As fórmulas químicas literais de Berzelius e a composição dos materiais: uma função sígnica nas aulas de química

Berzelius's chemical literal formulas and composition of materials: a sign function in chemistry classes

Isadora Melo Gonzalez

Universidade Federal da Bahia
isadoramgonzalez@gmail.com

José Luis de Paula Barros Silva

Universidade Federal da Bahia
zeluis_ufba@yahoo.com.br

Resumo

A invenção da linguagem química é um exemplo de constituição de funções sígnicas. Um caso especialmente importante e que nos interessa no trabalho, ora apresentado, foi o surgimento das fórmulas químicas literais, criadas por Berzelius. Nosso objetivo é entender o estabelecimento da associação entre fórmulas literais e composição dos materiais, como base para o ensino e a aprendizagem das fórmulas químicas. O fato de serem símbolos elaborados socialmente e de natureza histórica sugere que o ensino das fórmulas químicas deve considerar, além da História da Química, elementos da Teoria dos Códigos (de Umberto Eco) e da Psicologia da Representação (de Sandra Jovchelovitch), bem como um vínculo fecundo com a Psicologia Histórico Cultural, no sentido de analisar o processo de aprendizagem. Fundamentados nesses referenciais propomos algumas ações para compor um plano de ensino das fórmulas químicas literais.

Palavras chave: linguagem química, fórmulas químicas literais, ensino de química.

Abstract

The invention of chemical language is an example of sign function's constitution. An especially important case that interests us in work presented here, was the emergence of literal formulas created by Berzelius. Our objective is to understand the establishment of an association between literal formulas and the composition of materials, as a foundation to teaching and learning chemical formulas. The fact that these symbols have been socially elaborated and have historical nature suggests that chemical formulas teaching should consider, beyond Chemistry History, elements from Code Theory (by Umberto Eco) and from

Psychology of Representation (by Sandra Jovchelovitch), as well as a fruitful relationship with Cultural Historical Psychology, for analysis of learning process. Based on these theories, we suggest some actions to compose a plan for literal formulas teaching.

Key words: Chemical language, chemical literal formulas, chemistry teaching.

Introdução

A química, historicamente, descreve, explica e prevê fatos materiais e, em tais tarefas, emprega tanto as linguagens naturais (concernentes às comunidades linguísticas onde os químicos atuam) quanto uma forma de linguagem especial, composta por: 1) termos (provenientes da linguagem natural ou convencionados) cujos significados são próprios da química, por exemplo: conceitos químicos: substância, reação, metal, orbital; nomes de substâncias e de classes de substâncias: etilenoglicol, fulerenos, ácidos; 2) símbolos dos elementos químicos, por exemplo: H, S, Ca; fórmulas químicas e reações químicas, por exemplo: C_2H_6 , N_2O_4 ; $2 H_2 + O_2 \rightarrow 2 H_2O$. Essa linguagem¹ especial é constituída pela nomenclatura química, que corresponde à língua falada da química, e por uma notação simbólica que é a linguagem escrita da química.

O trabalho teórico, ora apresentado tem como objetivo entender o estabelecimento da associação entre fórmulas literais e composição dos materiais, como base para o ensino e a aprendizagem das fórmulas químicas. Em outras palavras: como se estabeleceu a associação entre fórmulas literais químicas e composição dos materiais e quais as implicações para o seu ensino?

A Função Sígnica Fórmula /Composição na Química

A função de representar, numa perspectiva peirciana, cabe aos signos. Para Peirce (2012, p.46) um signo é

aquilo que, sob certo aspecto ou modo, representa algo para alguém. Dirigi-se a alguém, isto é, cria, na mente da pessoa, um signo equivalente, ou talvez um signo mais desenvolvido [...] O signo representa alguma coisa, seu objeto.

Com base na semiótica de Peirce, Umberto Eco desenvolve sua Teoria dos Códigos², assumindo que o signo é –tudo quanto, à base de uma convenção social previamente aceita,

¹ O conceito de Linguagem é complexo, muitas vezes filósofos da linguagem, linguísticos e semióticos procuram nos fazer compreendê-lo a partir de propriedades como: formas (linguagens naturais, linguagens formais ou lógicas, linguagens convencionais) (MARTELOTTA, 2010); e funções (emotiva, conativa, referencial, fática, metalinguística, poética) (JAKOBSON, 2007). No entanto, deliberamos pensar a Linguagem como sendo a capacidade humana de expressar o pensamento, que uma vez codificado de forma convencional permite a comunicação entre os sujeitos (TERRA, 2010; MARTELOTTA, 2010).

² A semiótica, segundo Umberto Eco, apresenta dois domínios: a Teoria da Produção Sígnica e a Teoria dos Códigos. A primeira diz respeito ao processo de comunicação, que é –a passagem de um sinal de uma fonte, através de um transmissor ao longo de um canal, até um destinatário (ou ponto de destinação)|| (Eco, 2000, p.5). Na segunda teoria encontramos o ser humano na função de destinatário.

possa ser entendido como algo que está no lugar de outra coisa (2000, p.10). Estabelece assim, uma convenção semiótica: -há, pois, signo toda vez que um grupo humano decide usar algo como veículo de outra coisa (ECO, 2000, p.12). O sentido amplo do signo em Peirce sofre uma delimitação na concepção de Eco ao ser definido como uma convenção social humana que pode substituir algo.

Embora Eco apresente uma definição de signo, mais importante é a concepção de função sógnica como elemento estruturador da sua Teoria dos Códigos. A função sógnica é o resultado da relação entre um veículo expressivo e um conteúdo. Tal correlação é precedida pelo que Eco (2000) denomina de *continuum*³, também denominado de matéria, ou experiência. O *continuum* é considerado um evento material extrasemiótico (ainda não analisado) que envolve os estados físicos do mundo e os acontecimentos psíquicos -como as ideias que se supõe _ocorrerem_ na mente dos usuários das funções sógnicas (ECO, 2000, p.43). Podemos pensar que o *continuum* é a realidade estabelecida pelas diversas línguas de acordo com certos padrões culturais (LARA, 2001). Dessa realidade são extraídos, ao mesmo tempo, os veículos expressivos e os conteúdos. Por exemplo, a ciência química diante da necessidade de um tratamento semiótico dos próprios objetos, cria definições para, por exemplo, os entes químicos (átomos, as moléculas etc.), para isso fragmenta o próprio *continuum* em um determinado campo semântico, que evidenciado por elementos representativos engendram o sistema sintático da química.

A formulação da linguagem química é um exemplo de constituição de funções sógnicas. Um caso especialmente importante e que nos interessa neste trabalho foi o surgimento das fórmulas literais, criadas por Berzelius.

Berzelius, por volta de 1808, identificou o caráter quantitativo presente na Teoria Atômica de Dalton decorrente da proposição da Teoria Proporções Múltiplas (HARTLEY, 1971). Porém, a imprecisão dos dados experimentais de Dalton levou Berzelius a realizar rigorosas análises gravimétricas, na busca por: 1) estabelecer maior precisão factual à teoria de Dalton; 2) determinar as proporções definidas e simples, nas quais as partes constituintes das substâncias inorgânicas estariam unidas umas com as outras. Além das análises, Berzelius estabeleceu uma correspondência entre os termos -volumell, presente na lei volumétrica de Gay-Lussac, e -átomoll presente na Teoria Atômica, e constatou que era possível passar das suposições de Dalton às leis de Gay-Lussac apenas substituindo essas palavras e limitando-as ao caso de combinações entre substâncias gasosas. Berzelius encontrou, então, na descoberta de Gay-Lussac, uma das provas mais imediatas em favor da hipótese de Dalton. E foi a partir dos volumes dos gases que se combinam na formação das substâncias, que Berzelius, em 1813, escreveu a fórmula H²O para a água, e H³N, para o amoníaco etc. (RHEINBOLDT, Heinrich, 1988, p.76).

As fórmulas de Berzelius estavam destinadas

unicamente a facilitar a expressão das proporções químicas e a permitirmos indicar, sem longas perfrases, o número relativo de volumes dos distintos constituintes contidos em cada corpo composto. Ao determinar o peso dos volumes elementares, estas figuras nos permitirão expressar o resultado

³ O uso do termo *continuum* é uma tentativa de evitar as confusões geradas pelo termo -sentidoll usado pelo semiótico Hjelmslev, que faz referência ao fator comum entre as línguas, ou seja, um pensamento provisoriamente apresentado como massa amorfa, ou uma grandeza não analisada (LARA, 2001, p.1).

numérico de uma análise tão simples, e de uma maneira que se recordará facilmente, como as fórmulas algébricas na filosofia mecânica (CROSLAND, 1988, p.313; tradução nossa).

Verificamos, então, que uma função sígnica química surge no momento em que a comunidade química reconhece a associação entre as fórmulas literais de Berzelius (veículos expressivos) e a ideia de composição binária dos materiais inorgânicos.

Retomando o fato histórico relatado, constatamos que o conceito de composição binária não foi tomado isoladamente, mas sim como parte de um conjunto de teorias e leis no qual Berzelius se fundamentou, como por exemplo: a tese de Jeremias Richter acerca das proporções iguais de ácidos e bases, na formação de sais neutros; a Lei das Proporções Definidas de Proust; a Teoria Atômica de Dalton; a Lei das Proporções Múltiplas; a Lei das Proporções Recíprocas; a Lei das Proporções Volumétricas de Gay-Lussac; a Teoria Eletroquímica Dualística; o Isomorfismo; a Hipótese de Avogadro (parcialmente aceita); a lei de Dulong e Petit e a Analogia Química (PAPP; PRÉLAT, 1950; HARTLEY, 1971; JAFFE, 1976; RHEINBOLDT, 1988; CROSLAND, 1988). Ao relacioná-las Berzelius formou o *continuum* que engendrou a associação entre a ideia de composição química e as fórmulas literais, dando origem a uma função sígnica química.

Analisando o papel das fórmulas de Berzelius à luz das concepções de Eco, verificamos que elas participam como veículos expressivos, ou seja, representando a composição dos materiais, dando origem a uma função sígnica que a partir do século XIX passa a orientar atividades experimentais e teóricas na ciência química.

Em 1827, por exemplo, o químico francês Jean Dumas e o farmacêutico Polydore Boullay publicaram um artigo no qual usaram as fórmulas de Berzelius para explicar a reação de formação do éter ordinário e os seus vários subprodutos. O artigo é um dos primeiros documentos históricos no qual as fórmulas de Berzelius foram amplamente utilizadas como –ferramentas de papell para modelar reações orgânicas e a constituição binária dos compostos orgânicos (KLEIN, 2001, p.19). Isto nos leva a pensar que ao estarmos diante de uma fórmula química, linguagem escrita da química, estaremos, na realidade, diante de uma função sígnica (associação de tais fórmulas com a composição dos materiais), que irá requer de nós destinatários uma interpretação.

A semiótica de Pierce, de acordo com Eco (2000), teoriza acerca da relação entre o signo (expressão) e a série de seus interpretantes (conteúdos, significados). Os objetos só são convocados quando se discute sua relação com o signo. Pierce (2010, p.73) classifica o signo na sua relação com o objeto em ícone, índice e símbolo, sendo que,

o ícone não tem conexão dinâmica alguma com o objeto que representa; simplesmente acontece que suas qualidades se assemelham às do objeto e excitam sensações análogas na mente para a qual é uma semelhança. Mas, na verdade, não mantém conexão com elas. O índice está fisicamente conectado com seu objeto; formam, ambos, um par orgânico, porém a mente interpretante nada tem a ver com essa conexão, exceto o fato de registrá-la, depois de ser estabelecida. O símbolo está conectado a seu objeto por força da ideia da mente-que-usa-o-símbolo, sem a qual essa conexão não existiria.

Para exemplificar um ícone podemos pensar na cor laranja da fruta laranja, ou na linha de contorno do perfil de um rosto. No caso do índice temos: a –sinalização viária, a seta, o número ordinal, o nome próprio, um pronome demonstrativo (WALTHER-BENSE, 2010,

p.16). E como símbolos, podemos tomar as palavras, por exemplo, cão e casa usados para designar todos os cães e todas as casas que existiram, existem e existirão. Os símbolos tem um papel nos sistemas de signos das ciências ao representarem objetos ou eventos, como por exemplo, nas fórmulas e teoremas, onde encontramos símbolos em lugar de outros símbolos, como é o caso onde letras substituem palavras (WALTHER-BENSE, 2010).

Encontramos pesquisadores (GIORDAN; GOIS, 2007; WARTHA; REZENDE, 2011; ARAUJO NETO, 2012; KLEIN, 2001) na área de ensino de química que se dedicaram a classificar equações químicas, fórmulas e os símbolos dos elementos químicos de acordo com a tricotomia proposta por Peirce. A compreensão do que seja um ícone e um índice, no entanto, muitas vezes é dificultada, pois não é sempre que se estabelece uma –coincidência entre signo e objeto ou então qualquer parentesco direto ou semelhança entre signo e objeto (WALTHER-BENSE, 2010, p.17). Umberto Eco (2000), também questiona a classificação dos signos em ícone e índice, por considerar uma falácia referencial a concepção de que o significado de um significante pode ter algo a ver com o objeto correspondente.

Na perspectiva de Eco, a semiótica deve se preocupar com o conteúdo correlacionado aos veículos expressivos, isto é, com o significado de um termo, não com o objeto, pois –uma expressão não designa um objeto, mas veicula um conteúdo cultural (Eco, 2000, p.51). Para explicar que a noção de extensão (referencialidade) ou de que um mundo possível não é relevante para a sua Teoria dos Códigos, apresenta exemplos de significantes que se referem a entidades inexistentes, como por exemplo: unicórnio e sereia e, também, exemplos de significado não-referencial, pelo fato de existir significados de expressões que não correspondem a um objeto real, como por exemplo: a, com, todavia (ECO, 2000).

Contudo, no nosso entender, há muitas expressões da linguagem que se referem a entidades reais. No caso da representação por meio das fórmulas químicas, não podemos negar que existe um referencial, ou seja, objetos reais que são os materiais.

Dentro da divisão triádica dos signos apresentada acima, os signos químicos, no caso, as fórmulas de Berzelius, possuem relação simbólica com os materiais — são símbolos — já que os vínculos existentes foram definidos por convenção, como pode ser notado no seguinte trecho acerca das fórmulas do óxido ferroso e de outros óxidos básicos:

as proporções com que o oxigênio se combina com uma determina da massa de ferro estão entre si como 3:2 nos óxidos férrico e ferroso respectivamente. Portanto, a fórmula do óxido ferroso é FeO se o do férrico é Fe^2O^3 . Um certo número de outros metais, zinco, cobre, etc., formam óxidos básicos que originam sais quimicamente similares aos sais ferrosos. Em consequência, pode-se considerar que todos esses óxidos tem a mesma fórmula geral MO , onde M representa um átomo de ferro, zinco, cobre etc. (PAPP; PRÉLAT, 1950, p.140- 141).

A definição de uma fórmula geral para os óxidos básicos é um exemplo claro da função como convenção social humana. Tal convenção, não deve ser entendida como arbitrariedade, uma vez que a associação entre expressão e conteúdo segue regras de significação previstas por um código (Eco, 2000). Porém, não basta que a função signica seja uma convenção, é preciso que seja aceita socialmente.

O caráter convencional da função signica está associado a algumas características como: a repetibilidade (uso repetido dos signos); a acumulação; selecionabilidade; reutilização ou substituíbilidade (pressuposto de toda interpretação, explicação, definição, tradução,

codificação); a ensinabilidade e a aprendibilidade (JOVCHELOVITCH, 2008). Dentre essas características, nos interessa refletir sobre o ensino e a aprendizagem das funções químicas, como por exemplo, a correlação fórmulas de Berzelius/composição das substâncias no ensino de química. Entender como os sujeitos compreendem a função química fórmulas/composição é importante, uma vez que a própria existência e manutenção dessa função química depende da aceitação daqueles que compõem e participam da sociedade.

Para a psicologia da representação, o papel da expressão está relacionado à construção de visões de mundo. Sendo assim, representar/expressar é um processo constituído pelas inter-relações de sujeito-outro-objeto que ocorrem na comunicação estabelecida entre o eu e o outro, ou outros, em um período de tempo, e dentro de um contexto específico⁴ (JOVCHELOVITCH, 2008).

A definição do elemento que irá servir como veículo expressivo/representante, elemento participante da origem da função química, não é simplesmente uma construção mental individual, mas sim uma construção ativa de atores sociais⁵ (JOVCHELOVITCH, 2008). Na história das fórmulas literais, encontramos evidências da participação coletiva no processo de proposição dos veículos expressivos para a composição dos materiais.

Quando Berzelius começou a fazer uso de fórmulas, em 1814, admitiu seguir o exemplo de Thomson, que distribuía as letras representativas das substâncias na ordem de suas proporções dentro de um mineral particular. Assim, 'SAWL' denominava um mineral (ceolita), composto por: 53% de silício, 27% de alumínio, 10% de água e 4,5% de cal. Porém, Berzelius propunha que as iniciais deviam ser tomadas dos nomes latinos, como por exemplo, *Kalium* (potássio) e *Natrium* (sódio), por considera-los superiores às bases etimológicas de nomes alternativos usados na Alemanha, França e Inglaterra (CROSLAND, 1988).

Berzelius uniu os símbolos dos elementos para representar as partes mais simples de compostos. Passou a representar os compostos binários recomendando que se escrevesse primeiro o símbolo do elemento eletropositivo e em seguida o do eletronegativo. Assim, escreveu para representar o óxido de cobre a fórmula: CuO e para o sulfeto de zinco: ZnS. Porém, antes Berzelius havia proposto que a quantidade de oxigênio seria representada por pontos e o número de átomos de enxofre por vírgulas; assim o dióxido de carbono foi de C e de dissulfeto de carbono foi C. Embora tenham sido logo descartados pelo próprio Berzelius, muitos mineralogistas utilizaram esta forma de escrever as fórmulas de minerais durante décadas (JAFFE, 1976; CROSLAND, 1988).

Propôs o uso de símbolos tachados⁶ para indicar um átomo duplo, como por exemplo: HO para a água, significando H²O; e NH³ em lugar de N²H⁶, para o amoníaco. Adotados por vários químicos como Kolbe, Kekulé e Wurtz, os símbolos tachados eram considerados úteis para distinguir entre sistemas rivais de pesos atômicos, um grande problema da época, que foge ao escopo deste trabalho. Contudo, em 1834, Liebig se negou a aceitar os símbolos

⁴ A atividade de ensino é vista por Jovchelovitch (2008), como trabalho comunicativo que pertence ao sistema de relações intersubjetivas e interobjetivas que definem os códigos simbólicos de objetos e fenômenos do mundo, compartilhados socialmente, capazes de produzir sentido, ou seja, de significar.

⁵ O mesmo ocorre com o conteúdo, ou seja, com os significados, que vamos, em outra oportunidade, relacionar com as concepções de Vigotski, apresentadas na sua psicologia histórico-cultural.

⁶ Sobreposição de uma linha no terço inferior da letra, representando a duplicidade dos átomos (CROSLAND, 1988).

tachados diante das confusões causadas entre os impressores e os leitores. A representação da quantidade de átomos dos elementos presentes em um composto por números superescritos, também foi alterada por Liebig e Poggendorff, para subscritos, passando a escrever C_4H_8 em lugar de C^4H^8 , e CO_2 em lugar de CO^2 (JAFÉ, 1976, CROSLAND, 1988).

A história também nos mostra que a ciência, ao se esforçar para construir o real, torna-se uma forma de representação. A ideia expressão dentro da função sógnica de Eco (2000) nos remete à concepção de que a representação exerce uma função simbólica ao substituir e condensar objetos, pessoas e fenômenos, embora não seja um reflexo especular do mundo exterior, uma vez que não captura a realidade em sua totalidade (JOVCHELOVITCH, 2008).

Considerações Finais

A associação entre fórmulas literais e composição química dos materiais nos levou à noção de função sógnica, contudo, como um caso em que há uma relação de referência com os materiais. Portanto, as fórmulas químicas devem ser entendidas como símbolos elaborados socialmente e com natureza histórica.

Nossa compreensão das fórmulas químicas como símbolos diverge de outros autores supracitados, pois analisando a relação que estabelecem com materiais, não observamos entre eles qualquer conexão física ou qualidades em comum, que nos levassem a classificar as fórmulas em ícone ou índice. Entretanto, as classificamos como símbolos, pois verificamos que a conexão com os materiais depende da interpretação do destinatário, que, por sua vez, requer o domínio de um sistema de significados e o conhecimento das regras de associação.

O fato de serem símbolos elaborados socialmente e com natureza histórica sugere que o ensino das fórmulas químicas deve considerar, além da História da Química, elementos da Teoria dos Códigos (de Eco) e da Psicologia da Representação (de Jovchelovitch), bem como um vínculo fecundo com a Psicologia Histórico Cultural, no sentido de analisar o processo de aprendizagem.

Fundamentados nesses referenciais propomos algumas ações para compor um plano de ensino das fórmulas literais: i) a delimitação da porção do *continuum* químico que servirá — se relacionarmos às categorias informacionais — como *fonte* do conteúdo (conceito de substância, leis das proporções múltiplas, teoria atômica, dentre outros); e o *canal* do veículo expressivo (as fórmulas); ii) a explicitação sistemática do código, isto é, das regras que devem orientar os educandos no estabelecimento da associação entre expressão e conteúdo, evidenciando o caráter convencional da correlação entre as fórmulas e a composição dos materiais. Esse código envolve, por exemplo: a memorização dos símbolos dos elementos químicos; a atenção à posição de cada símbolo químico e de cada número etc.; iii) por meio da abordagem contextual, apresentar o processo de elaboração da correlação fórmula/composição ao longo do século XIX.

As ações de ensino ora propostas buscam garantir a ocorrência da função sógnica fórmula/composição, ou seja, a recepção da *mensagem* pelos estudantes, uma vez que esta é uma função sógnica sempre presente nos processos de ensino e aprendizagem de muitos conceitos químicos. Esta função sógnica, no entanto, não é estática, uma vez que os significados se desenvolvem Vigotski (2009).

Referências

- ARAUJO NETO, W. N. Estudo sobre a noção de representação estrutural na educação química a partir da semiótica e da filosofia da química. *Revista Virtual de Química*, v.4 (6), 2012.
- CROSLAND, Maurice P. *Estudios históricos en el lenguaje de la química*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1988.
- ECO, Humberto. *Tratado geral de semiótica*. 3ª ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 2000.
- TERRA, Ernani. *Linguagem, língua e fala*. 2ª ed. São Paulo: Scipione, 2008.
- GOIS, Jackson; GIORDAN, Marcelo. Semiótica na Química: a teoria dos signos de Pierce para compreender a representação. *Química Nova na Escola*, nº 7, pp.34-42, 2007.
- HARTLEY, Sir Harold. The place of Jons Jakob Berzelius (1779 – 1848) in the history of chemistry In: HARTLEY, Sir Harold. *Studies in the history of chemistry*. Oxford: Clarendon Press, 1971, cap. 5, p.134 -152.
- JAFFE, Bernard. Berzelius a swede tears up a Picture book. In: JAFFE, Bernard. *Crucibles: The story of chemistry – from ancient alchemy to nuclear fission*. 4ª ed. New York: Dover Publications, INC., 1976, Cap. 8, p.100 – 115.
- JOVCHELOVITCH, Sandra. *Os contextos do saber: representações, comunidade e cultura*. Petrópolis: Vozes, 2008.
- KLEIN, Ursula. The creative power of paper tools in early nineteenth-century chemistry. In: *Tools and modes of representation in the laboratory sciences*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, p.13 – 34, 2001.
- LARA, Marilda L. G. de. O Unicórnio (o Rinoceronte, o Ornitorrinco ...), a Análise Documentária e a Linguagem Documentária. *DataGramaZero - Revista de Ciência da Informação*, v.2 n.6, 2001. Disponível em:<http://www.dgz.org.br/dez01/Art_03.htm>. Acesso em abril de 2013.
- MARTELLOTA, M. Eduardo (org.). *Manual de Linguística*. São Paulo: Contexto, 2010.
- PAPP, Desiderio; PRÉLAT, Carlos. *Historia de los principios fundamentales de la química*. Buenos Aires: Espasa-calpe Argentina S.A., 1950.
- PEIRCE, Charles Sanders. *Semiótica*. 4ª ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 2010.
- RHEINBOLDT, Heinrich. *A história da balança e a vida de J.J. Berzelius*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1988.
- VIGOTSKI, L. S. *A construção do pensamento e da linguagem*. 2ª Ed. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2009 (2001).
- WALTHER-BENSE, Elisabeth. *A teoria geral dos signos: introdução aos fundamentos da semiótica*. São Paulo: Editora Perspectiva, 2010.
- WARTHA, Edson J.; REZENDE, Daisy de B. Os níveis de representação no ensino de química e as categorias da semiótica de Peirce. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.16(2), pp. 275-290, 2011.