UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE QUÍMICA
Programa de Pós-Graduação em Química

KARINA APARECIDA DE FREITAS
DIAS DE SOUZA

**Estratégias de comunicação em química
como índices epistemológicos: análise
semiótica das ilustrações presentes em
livros didáticos ao longo do século XX**

Versão original da Tese defendida

São Paulo

Data do Depósito na SPG:
15/10/2012

KARINA APARECIDA DE FREITAS
DIAS DE SOUZA

**Estratégias de comunicação em química como
índices epistemológicos: análise semiótica das
ilustrações presentes em livros didáticos ao longo
do século XX**

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

Orientador: Prof. Dr. Paulo Alves Porto

São Paulo

2012

*Ao meu companheiro e amigo
Marcelo, e nosso maior projeto:
João Pedro ou Manuela*

Agradecimentos

Ao orientador e amigo Prof. Dr. Paulo Alves Porto pela parceria, compreensão nos momentos conturbados, conversas nem sempre relacionadas à pesquisa, mas de enorme importância pra mim, além da confiança ao propor o desafio de trabalhar com a filosofia de Charles S. Peirce. Minha sincera admiração.

Com imenso amor e gratidão agradeço

Ao Marcelo, meu amor e parceiro em todos os projetos, pessoais e profissionais. Obrigada por me aceitar como sou e fazer parte, com paciência e companheirismo, da minha vida nem sempre tranquila e organizada!

A minha mãe, Marildy... Como falar pouco sobre TUDO?

Aos meus familiares por me acompanhar e apoiar sempre!

Pela amizade agradeço

À irmã mais velha Bel por chorar e sorrir comigo, desde a infância, nos momentos mais importantes da minha vida e à irmã mais nova Anielli, pela confiança inabalável, por cuidar de mim e nunca se afastar, mesmo nos momentos em que estou mais ausente. Amo vocês!

À Aline, pela amizade, longas conversas e abrigo nas noites em São Paulo!

Aos amigos do Instituto Federal de São Paulo – Campus Salto pelo auxílio, incentivo e compreensão com inevitáveis atrasos no atendimento a compromissos. Agradeço, especialmente, ao Prof. José Antonio Neves, pela confiança, compreensão e incentivo, e às amigas Lia e Almê pelas longas conversas, orientações e imenso carinho!

Aos amigos do Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química (GHQ) pelas conversas, contribuições significativas, incentivo e momentos divertidos nos congressos!

Aos amigos professores Dailton e Luciane da Faculdade de Pindamonhangaba (FAP) pelo incentivo, compreensão e auxílio nas ausências para atividades do Doutorado.

Pelo apoio ao longo da pesquisa agradeço

Aos servidores da Biblioteca do Conjunto das Químicas pelo auxílio na localização e consulta das obras que constituíram parte do objeto dessa pesquisa.

Aos servidores da Secretaria de Pós-graduação, pelo auxílio, sempre com grande presteza.

À Profa. Lucia Santaella pela possibilidade de diálogo e intervenções que contribuíram enormemente para a aproximação do complexo universo da semiótica peirceana.

Aos Professores Cecília Hanna Mate, Liliana Marzorati e Agnaldo Arroio pelas contribuições.

Ao CNPq e à Fapesp, pelo apoio financeiro.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização desse trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Fonte: HOFFMAN, R. O mesmo e o não mesmo. São Paulo: UNESP, 2007.

Criar o mundo é menos impossível do que explicá-lo.

Anatole France

RESUMO

Souza, K. A. F. D. **Estratégias de comunicação em química como índices epistemológicos: análise semiótica das ilustrações presentes em livros didáticos ao longo do século XX.** 2012. 189p. Tese - Programa de Pós-Graduação em Química. Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

O presente trabalho insere-se no contexto de algumas convicções, aqui destacadas com vistas à compreensão dos objetivos e estratégias metodológicas: (i) no processo de construção do conhecimento científico, o acesso à realidade da Natureza só é possível se mediado pelos resultados das interações que com ela estabelecemos; (ii) a interpretação de tais resultados levam a construtos teóricos e linguísticos; (iii) tais construtos não correspondem à realidade em sua totalidade, uma vez que se tratam de interpretações possíveis e limitadas pelas interações estabelecidas; (iv) a explicitação das relações entre realidade – interação – interpretação – representação é essencial ao processo de educação em ciências que se pretenda emancipatório e formador de indivíduos críticos, uma vez que permite extrapolar os limites do ensino conteudista. Tais relações ganham especial destaque no ensino de química, dado o papel essencial desempenhado pelos modelos e representações tanto no processo de construção do conhecimento químico quanto de sua comunicação. Apesar disso, extensa busca na literatura levou a diferentes tentativas de descrição da atividade química e do ensino dessa ciência que não contemplam satisfatoriamente as relações entre realidade, interação, interpretação e representação. Considerando que tais relações são de natureza semiótica, foram colocados como objetivos da presente investigação: a reconceitualização das diferentes propostas de descrição da atividade do químico e do ensino de química à luz da filosofia de Charles Sanders Peirce; a caracterização das estratégias de comunicação do conhecimento químico empregadas por autores de livros de Química Geral sob a perspectiva do referencial teórico elaborado e a busca por correlações entre o perfil das representações investigadas, a evolução no conhecimento químico, e as diferentes concepções sobre essa ciência. A teoria peirceana mostrou-se promissora na elucidação de problemas filosóficos identificados nas descrições da atividade química e de seu ensino. A compreensão de que as evidências experimentais atuam como signos de um objeto (realidade), do qual só podemos ter acesso parcial, contribui para a compreensão da atividade científica como processo em permanente construção. A partir dessa perspectiva, foram analisadas 31 obras e identificadas diferentes abordagens para o conhecimento químico: da química enquanto *ciência prática e aplicada* (início do século XX) passou-se à *ciência do invisível* (ênfase nos princípios a partir dos anos 1950) e, mais atualmente, à *ciência de interfaces*. Tal transição mostrou-se marcada por modificações nas estratégias de representação do conteúdo químico: das ilustrações sobre experimentos e aparatos passou-se à quase negligência dos aspectos descritivos em favor das representações de átomos e moléculas, cuja “realidade” vai sendo construída ao longo do século a partir de recursos gráficos cada vez mais elaborados, e de estratégias semióticas, como o aumento da iconicidade. Chega-se à década de 1980 com enorme número de ilustrações, distribuídas entre fenômenos diretamente inacessíveis por nossos sentidos e aplicações da química em nosso cotidiano. As estratégias discursivas utilizadas nesse processo, bem como suas implicações para o ensino de química, discutidas ao longo do trabalho, sugerem que a semiótica peirceana constitui linha de pesquisa fértil e promissora para esta área.

Palavras-chave: semiótica, imagens, filosofia da química, livros didáticos.

ABSTRACT

Souza, K. A. F. D. **Communication strategies in chemistry as epistemological indexes: semiotic analysis of textbook images throughout the 20th century.** 2012. 189p. PhD Thesis - Graduate Program in Chemistry. Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

This work starts from four assumptions which stand as the background for the research aims and methodological strategies: (i) in the process of construction of scientific knowledge, the access to the reality of Nature is necessarily mediated by interactions that we establish with it; (ii) the interpretation of the results of such interactions leads to theoretical and scientific constructs; (iii) such constructs are not identical to reality itself, since they are possible interpretations, constrained by the performed interactions; (iv) an explicit account of the relationships between reality - interaction - interpretation - representation is essential to a science education that intends to be emancipatory, since it allows to transcend the boundaries of content-centered teaching. Such relationships need special attention from chemical educators, given the essential role played by models and representations in the processes of construction and communication of chemical knowledge. An extensive literature search revealed various attempts to describe chemical activity and chemistry teaching that do not satisfactorily address the relationships between reality, interaction, interpretation and representation. Since such relationships are of semiotic nature, the present research aimed at: reconceptualizing the different attempts to describe the chemists' activity and the teaching of chemistry, in the light of the philosophy of Charles Sanders Peirce; characterizing, within the developed theoretical framework, the strategies employed in General Chemistry textbooks to communicate chemical knowledge; and establishing correlations between such strategies, the historical evolution of chemical knowledge and the different conceptions about chemistry. Peirce's theory showed to be useful for elucidating philosophical problems identified in descriptions of chemical activity and in chemistry teaching. Realizing that experimental evidences act as signs of an object (reality), to which we can only have partial access, contributes to the understanding of scientific activity as an ever-evolving process. From this perspective, 31 textbooks were analyzed and it was possible to identify different approaches to chemical knowledge: *chemistry as an applied and practical science* (early twentieth century), *chemistry as the science of the microscopically invisible* (emphasis on principles, from the 1950s) and, currently, *chemistry as the science of interfaces*. Passing from one approach to the other involved changes in the strategies for representing chemical content: illustrations of experiments and apparatus were almost totally neglected in favor of the representations of atoms and molecules, whose "reality" was built along the century with increasingly elaborated graphics and semiotic strategies such as increasing iconicity. The 1980s brought a huge number of illustrations, distributed among directly inaccessible phenomena and applications of chemistry in our daily life. The discursive strategies used throughout the century, as well as their implications for the teaching of chemistry discussed in this thesis, suggest that Peirce's semiotics is fertile and promising for research in chemical education.

Keywords: semiotic, images, philosophy of chemistry, textbooks.

SUMÁRIO

RESUMO.....	09
ABSTRACT.....	10
APRESENTAÇÃO.....	11

CAPÍTULO 1 – ORIGENS E OBJETIVOS DA PESQUISA

1.1. Abordagens triádicas para a atividade química.....	15
1.2. Abordagens triádicas para o ensino de química.....	17

CAPÍTULO 2 – CONTEXTOS, CONCEITOS E CONSTRUÇÃO DE UM REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Contexto histórico.....	34
2.1.1. Representações na história da química – Breves considerações.....	40
2.2. Contexto filosófico.....	43
2.2.1. Realismo na ciência química: entre entidades e teorias.....	49
2.2.2. Realismo, reducionismo e educação em química.....	52
2.2.3. A filosofia de Charles Sanders Peirce – Primeiras considerações e aproximações com a ciência química.....	56
2.2.3.1. As categorias do pensamento.....	58
2.2.3.2. A terceiridade peirceana e a construção/aprendizagem de conceitos científicos.....	61
2.2.3.3. A teoria dos signos de Charles Sanders Peirce.....	64
2.3. Construindo um referencial teórico.....	72
2.3.1. A produção do conhecimento químico.....	72
2.3.2. A comunicação do conhecimento químico – Abordagem fenomenológica e semiótica da educação em química.....	81

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS

3.1. Contexto pedagógico: aspectos gerais e importância dos livros didáticos para o ensino de ciências.....	89
3.1.1. Imagens nos livros didáticos de ciências.....	91
3.2. Livros didáticos de Química Geral ao longo do século XX.....	94
3.3. Estratégias de comunicação visual do conhecimento químico – Abordagem fenomenológica e semiótica.....	125
3.3.1. Análise semiótica preliminar.....	126
3.3.2. Primeiro estudo de caso – Estrutura dos sólidos.....	143
3.3.3. Segundo estudo de caso – Soluções.....	150
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES E PERSPECTIVAS.....	167
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	176

Apresentação

La clairvoyance, René Magritte (1936)

Fonte: <http://rene-magritte-paintings.blogspot.com>

"O sujeito é aquele que vê a realidade e a interpreta, e ao interpretá-la, acaba por transformá-la." (Pinheiro, 2000, p. 56). É assim que Simone Zied Pinheiro (2000) comenta uma das principais dimensões do autorretrato *La clairvoyance* de René Magritte e é sob essa perspectiva que o presente trabalho propõe-se a analisar a atividade científica e, em especial, a atividade química. A realidade da Natureza, as interações com ela estabelecidas, bem como sua interpretação e representação na forma de construtos científicos teóricos e linguísticos, são instâncias recursivamente contrapostas em busca de fundamentação coerente para questões postas pela contemporânea filosofia da química como a realidade material de entidades como átomos e moléculas e os próprios conceitos de lei, teoria e modelo, que parecem assumir significados diferentes quando aplicados a diferentes áreas do conhecimento (Scerri e McIntyre, 1997).

A necessidade de demarcação das especificidades da ciência química, ou seja, a construção de uma filosofia da química e, também a aproximação das discussões de âmbito filosófico do contexto educacional, são de especial importância, uma vez que

Químicos formados se tornam pesquisadores: a pesquisa filosoficamente instruída deveria ser mais perspicaz do que a pesquisa simplesmente empírica. Químicos formados se tornam professores: o ensino filosoficamente instruído deveria melhorar tanto a qualidade dos futuros químicos como a apreciação e a compreensão das ideias químicas pelo público em geral. (Justi e Gilbert, 2002, p.214.)

Considerando os livros didáticos (LDs) não apenas como maneiras de se difundir olhares organizados acerca dos conteúdos a serem ensinados, mas como instrumentos de síntese do “consenso disciplinar” de determinada área, é possível tomá-los como forma de aproximação das ideias e concepções acerca da ciência química divulgadas em diferentes períodos. Tais recursos, que não são apenas pedagógicos, mas também políticos, econômicos e culturais, representam potencial campo de investigação para as estratégias de comunicação do processo de construção do conhecimento químico. Em outras palavras, os LDs constituem espaço aberto para o estudo das relações entre realidade – interação – interpretação – representação anteriormente mencionadas.

Sob essa perspectiva, colocam-se os seguintes objetivos:

- Entendendo o processo de construção do conhecimento como um processo recorrente de interpretação e reinterpretação de fenômenos (signos) e, portanto, de natureza semiótica, propomo-nos **apresentar e analisar diferentes propostas de descrição da atividade do químico e do ensino da ciência química, buscando sua reconceitualização sob a perspectiva da semiótica peirceana;**

- Considerando nosso especial interesse nas questões relacionadas ao ensino da química, e buscando forma de discussão das contribuições e limitações do referencial teórico adotado, propomo-nos a **caracterizar as estratégias de comunicação do conhecimento químico empregadas por autores de livros de Química Geral circulantes no contexto universitário brasileiro ao longo do século XX, sob a perspectiva do referencial teórico elaborado;**

- Em associação aos objetivos acima destacados, propomo-nos a **buscar correlações entre o perfil temporal das representações investigadas, a evolução no conhecimento químico, e as diferentes concepções sobre a própria ciência química e seu ensino ao longo do século XX.**

No que se refere à estrutura do texto, no primeiro capítulo descrevemos as origens da pesquisa, descrevendo e apresentando diferentes propostas de aproximação da atividade química e de seu ensino, bem como suas limitações.

Os capítulos 2 e 3 apresentam a construção do eixo teórico-metodológico da pesquisa. No capítulo 2 são apresentados os contextos históricos e filosóficos de seu desenvolvimento, dentre os quais é justificada a inserção da filosofia peirceana. Como num trabalho de alfaiataria, tais contextos e perspectivas constituem-se parte da confecção de uma compreensão fenomenológica e semiótica da atividade científica, na qual a química se insere e assume suas particularidades.

É sob o referencial teórico construído no capítulo 2 que procedemos, no capítulo 3, a análise de livros didáticos destinados ao ensino de Química Geral no contexto universitário brasileiro do século XX.

Finalmente, o capítulo 4 refere-se às conclusões e considerações finais da pesquisa, onde refletimos, essencialmente, sobre as contribuições dos cursos de formação para a instauração dos resultados observados. Como nenhum processo de investigação pode ser, de fato, concluído, apresentamos outras questões, no intuito de suscitar o interesse para o desenvolvimento de novos trabalhos.

The victory, René Magritte, 1939. Fonte: <http://www.wikipaintings.org/en/rene-magritte>.

Origens e objetivos da pesquisa

Capítulo 1

Origens e objetivos da pesquisa

1.1. *Abordagens triádicas para a atividade química*

Em 1971, Hammond e Nyholm, buscando organização curricular alternativa à divisão clássica entre química inorgânica, orgânica, físico-química e analítica, propuseram nova subestrutura, cujas características seriam

(...) auxiliar a organização da instrução em química, reduzir o paroquialismo, aumentar o intercâmbio de ideias entre os químicos e facilitar a aplicação da química a problemas interdisciplinares complexos (...) [além de] reconhecer o âmbito da química em seu aspecto mais amplo e oferecer fácil acomodação de todos os campos de atividade química (Hammond e Nyholm, 1971, p. 10).

Sob essa perspectiva, os autores propuseram que a química poderia ser subdividida nas áreas de **(a)** *estrutura e propriedades* físicas das substâncias (emprego de técnicas de análise estrutural, determinação de propriedades mecânicas, térmicas, elétricas, etc.); **(b)** *transformações* químicas (cinética, termodinâmica, síntese e técnicas associadas) e **(c)** *aplicação* da química a sistemas complexos - bioquímica, engenharia molecular, ciência de materiais, geoquímica, etc. (Hammond e Nyholm, 1971, p. 10).

Em 2007, citando inclusive o trabalho de Hammond e Nyholm, Goedhart propôs modificação na estrutura proposta em 1971. A nova estrutura deveria ser “projetada para fazer com que o currículo de química corresponda às experiências de químicos reais fazendo química real” (Goedhart, 2007, p. 972). Para isso, Goedhart fez o que denominou inventário dos *diferentes contextos em que o químico atua*, identificando três: **(a)** *Análise* (mais do que a determinação da composição qualitativa e quantitativa de misturas e do que a análise elementar de compostos puros, a análise compreende a determinação de estruturas nos

níveis *semimicroscópico* – por exemplo, estruturas de superfície – e *microscópico* – nível molecular, intermolecular e estruturas de rede); **(b)** *Síntese* (conhecimento e habilidades relacionados à síntese de produtos – compostos, misturas e materiais – com propriedades específicas) e **(c)** *Desenvolvimento de teorias* (construção e validação de modelos – modelos corpusculares e leis – e teorias baseados nas propriedades observadas e medidas das substâncias e em suas reações). É interessante notar que, segundo o autor, o desenvolvimento de teorias não distingue a Física da Química. Análise e Síntese seriam mais características da Química enquanto disciplina específica¹.

Uma divisão das áreas de atividade do químico bastante semelhante, ainda que não relacionada a um contexto pedagógico, foi mencionada no capítulo introdutório do livro *Philosophy of chemistry – Synthesis of a new discipline* (Baird *et al.*, 2006). Segundo os autores, uma possível resposta à pergunta “O que todos esses químicos estão fazendo?” seria: “Fazendo, medindo e modelando” (Baird *et al.*, 2006, p. 3).

Adiciona-se à tríade proposta por Baird e colaboradores (2006) a apresentada pela pesquisadora francesa Bernadette Bensaude-Vincent que, ao comentar as estratégias e posturas de Linus Pauling na obra *College Chemistry*, afirmou que “aprender química não é primordialmente *explorar a natureza* ou *descobrir os segredos da matéria*, é *praticar uma linguagem*” (Bensaude-Vincent, 2007, p. 141 – destaques nossos) e, mais a frente, que “os químicos têm que administrar um bom equilíbrio entre *imaginação*, *memória* e *compreensão*” (Bensaude-Vincent, 2007, p. 142 – destaques nossos). Apesar de certa informalidade na proposição das tríades de Baird e Bensaude-Vincent, é interessante notar a recorrência do número “3”: são três os campos de atuação do químico (Hammond e

¹ A proposta de Goedhart mostrou-se útil para analisar concepções de estudantes de graduação em química a respeito da integração entre as diversas subáreas da química (Porto *et al.*, 2010).

Nyholm, 1971; Goedhart, 2007; Baird *et al.*, 2006), três são os descritivos da aprendizagem de química e três são as habilidades essenciais dos químicos.

Uma busca mais aprofundada na literatura levaria a outras tríades, como as propostas por Hoffman (2007) e Hammond (1987), que não foram aqui mencionadas, com o objetivo de não estender em demasiado a discussão. As propostas apresentadas, no entanto, permitem atribuir importância e mesmo necessidade de aprofundamento nas questões concernentes à filosofia da química, visando esclarecimento sobre seus objetivos, estratégias de produção e de comunicação de conhecimento. Trazendo a discussão para o campo da educação em química, concordamos com Hammond e Nyholm (1971): “Como a química é mais bem descrita em termos das coisas que as pessoas que se denominam químicos fazem, é clara a relação entre a química e a forma como ela é ensinada” (p. 6).

Coincidentemente (ou não!), bom número de propostas associadas à educação em química também se manifestam triadicamente.

1.2. *Abordagens triádicas para o ensino de química*

O primeiro autor que merece destaque na busca pela descrição da atividade química, dos objetos sob investigação e de suas relações com o ensino dessa ciência, é Alex H. Johnstone, professor do departamento de química da Universidade de Glasgow, Escócia, cuja discussão dos níveis de atuação do químico, primeiramente apresentada em 1982, consagrou não só uma “*forma de encarar a atividade de representação na química*” (Araujo Neto, 2009), mas também uma definição das habilidades do químico e, conseqüentemente, das habilidades a serem desenvolvidas na educação nessa área das ciências.

Apesar de a tese de doutorado de Araujo Neto (2009) apresentar bom levantamento e discussão das ideias de Johnstone e de suas limitações, acreditamos ser interessante

apresentá-las aqui, especialmente para que sejam colocadas ao lado de outras propostas com finalidades semelhantes a serem discutidas.

Em 1982, Johnstone publicou o artigo *Macro- and microchemistry* no periódico *The School Science Review*. Em seu texto, afirmou que

Aqueles que são químicos acadêmicos podem perceber nossa disciplina em pelo menos três níveis (...) Químicos experientes “pulam” livremente de nível para nível num processo de ginástica mental (Johnstone, 1982, p. 377).

Os níveis referidos por Johnstone seriam **(a) descritivo e funcional**, no qual podemos ver e manipular materiais e descrever suas propriedades, além de converter um material em outro, com consequente alteração nas propriedades; **(b) representacional**, no qual tentamos representar substâncias por fórmulas e suas mudanças por equações e **(c) explanatório**, nível atômico e molecular, no qual tentamos explicar porque as substâncias químicas se comportam como percebemos, invocando átomos, moléculas, íons, estruturas, isômeros, polímeros, etc. para formar uma imagem mental que direcione nosso pensamento e racionalize o nível descritivo. Cabe destacar que o autor deixou claro que tais níveis (*Figura 1*) também são aplicáveis à Física e à Biologia.

Figura 1. “Níveis” na química, física e biologia. Extraído e traduzido de Johnstone (1982), p. 378.

Em artigo publicado em 1991, Johnstone referiu-se a esses níveis como *níveis do pensamento*, e os dispôs como vértices de um triângulo, passando a denominá-los *macro* (correspondendo ao descritivo e funcional), *submicro* (molecular) e *simbólico* (representacional) – ver *Figura 2*.

Figura 2. Os níveis do pensamento. Extraído e traduzido de Johnstone (1991), p. 78.

Na ocasião, o autor reiterou a aplicação dos níveis (nesse caso, de pensamento) a outras áreas da ciência, afirmando que a Física disporia dos níveis *macro*, *invisível* (forças, reações e elétrons) e *simbólico* (cálculos, fórmulas), enquanto a Biologia, dos níveis *macro* (plantas ou animais), *micro* (células) e *bioquímica* (DNA, etc.). Considerando tais exemplos, parece incoerente o estabelecimento de correspondências entre os níveis “micro” da química e da biologia, assim como entre os níveis “representacional” e “bioquímica”.

Já em 1993, Johnstone propôs-se a apresentar uma “filosofia para o ensino de química”. Ao mencionar a revolução ocorrida na educação em ciências na década de 1960, culminando na acentuada ênfase nos princípios enquanto proposta curricular, afirmou que

(...) a nova química tem três componentes básicos: a *macroquímica* do tangível, comestível e visível; a *submicroquímica* do molecular, atômico e cinético; e a *química representacional* dos símbolos, equações, estequiometria e matemática” (Johnstone, 1993, p. 702)

Cabe destacar que, na ocasião, os mencionados componentes básicos também foram apresentados como vértices de um triângulo.

Novas recorrências a triângulos foram feitas pelo autor em diferentes trabalhos. Em 2000, apesar de a figura não ser explicitada, Johnstone afirmou que

(...) [a *natureza da química*] se dá em três formas que podem ser pensadas como os vértices de um triângulo (...) (a) o macro e tangível: o que pode ser visto, tocado e cheirado; (b) o submicro: átomos, moléculas, íons e estruturas; e (c) o representacional: símbolos, fórmulas, equações, molaridade, manipulação matemática e gráficos (Johnstone, 2000, p. 11 – destaque nosso).

Em 2006, sob a mesma nomenclatura, os vértices do triângulo foram considerados os “três níveis conceituais da química” (Johnstone, 2006, p. 59) e, finalmente, no artigo mais recente, publicado em 2010, o pesquisador apresenta os vértices como os “componentes que **representam** conceitos das ciências físicas” (título da figura, tradução e destaque nossos) ou ainda como os “três aspectos da **representação** nas ciências físicas” (*Figura 3*).

Figura 3. Três aspectos da representação nas ciências físicas” (tradução da legenda original). Extraído de Johnstone (2010).

Cabe destacar que, além da enorme variabilidade de denominações atribuídas aos vértices do triângulo, que levam a inevitável confusão acerca dos objetivos do autor ao propô-lo, também não há clareza acerca do critério de classificação dos “entes” químicos entre os diferentes níveis propostos. As “estruturas”, por exemplo, apesar de classificadas como pertencentes ao nível submicroscópico, poderiam ser também consideradas em seu aspecto representacional.

Outra consideração importante foi feita por Labarca (2010a), e diz respeito à adequação na escolha da forma geométrica para distribuição dos níveis (triângulo) e dos significados atribuídos a ela. Para o pesquisador argentino, a proposta de Johnstone incorre em erro filosófico associado à confusão entre planos de argumentação. Ao propor níveis de operação em química, Johnstone confunde os planos ontológico, linguístico/conceitual e matemático. Labarca defende que, dentre os níveis propostos, dois são de natureza

ontológica (macro e submicro), enquanto o outro (representacional) representa mistura dos planos matemático e conceitual, resultando em níveis qualitativamente diferentes, que não poderiam ser representados como vértices de um mesmo triângulo (Labarca, 2010a).

A principal crítica à proposta de Johnstone, no entanto, parece recair sobre o estatuto de “níveis de representação” atribuído aos vértices do triângulo por muitos adeptos de sua proposta e por ele mesmo, explicitamente, em 2010. Surge, mais uma vez, a questão ontológica. Araujo Neto (2009) argumenta que

Tais níveis parecem confundir referentes e referências, o representante e a própria representação. Isso pode ocorrer por uma confusão entre os tais níveis de representação e as coisas do mundo. Se as coisas ao nosso redor, todos os tipos de materiais, os entes que classificam como submicroscópicos ou quaisquer tentativas que puderem ser feitas de entendê-los (desenhos, artefatos materiais, equações, etc.) são tomados como representação, tem-se uma proposta não realista de constituição do mundo (...) Não pretendemos criticar essa opção por ser uma proposta não realista, mas sim porque não há tentativa de esclarecimento das proposições (Araujo Neto, 2009, p. 49).

Como alternativa à proposta de Johnstone, Galakovsky e colaboradoras (2003), investigando a aplicabilidade do triângulo durante o processo de ensino e aprendizagem de química, propõem que o nível submicroscópico, ao relacionar-se à interpretação de fenômenos via esquemas de partículas, e expressando-se através de uma linguagem gráfica que utiliza códigos específicos seria, ele mesmo, um nível simbólico. Dessa forma, seriam apenas dois os **níveis de representação**: macroscópico e simbólico (Galakovsky *et al.*, 2003). Mais uma vez, fica evidente a ausência de consenso entre os referentes dos “níveis” e os “entes” que os compõem.

Apesar das limitações acima apresentadas, o triângulo de Johnstone é, indiscutivelmente, referencial teórico adotado em diferentes pesquisas em educação em química (Georgiadou e Tsarpalis, 2000; Santos, Greca e Serrano, 2003; Treagust,

Chittleborough e Mamiala, 2003; Souza e Cardoso, 2008). Talanquer (2011) chega mesmo a afirmar que

A ideia de que o conhecimento químico e o entendimento sobre nosso mundo é gerado, expressado, pensado e comunicado em três diferentes “níveis”, tradicionalmente chamados macroscópico, submicroscópico e simbólico, mostrou-se uma das mais poderosas e produtivas na educação química nos últimos 25 anos (Talanquer, 2011, p. 179).

A sugestão de constituição de possível paradigma na educação em ciências e, especialmente, em química, é fortalecida, por exemplo, pela análise dos capítulos da obra *Multiple representation in chemical education* (Gilbert e Treagust, 2009), que se propõem a discutir a natureza e significância do triplete mencionado. A menção aos três níveis de Johnstone, ainda que, em certas situações, mediante uso de terminologias distintas², é recorrente e claramente empregada como fundamentação teórica.

Outra proposta bastante difundida na literatura, com propósitos semelhantes ao triângulo de Johnstone, ainda que representem compreensões distintas, é o triângulo proposto por Mortimer e colaboradores (2000), apresentado na *Figura 4*.

Figura 4. “Aspectos do conhecimento químico”. Extraído de Mortimer et al. (2000), p. 277.

No contexto de elaboração de uma proposta curricular para o estado de Minas Gerais, os autores apresentam os vértices do triângulo sob a seguinte argumentação:

² No texto introdutório da obra Gilbert e Treagust (2009) apresentam tabela que compara diferentes denominações atribuídas aos três níveis. Assim, o nível *submicroscópico* de Johnstone é apresentado, por outros autores, como *nível microscópico*, *nível sub-micro*, *mundo molecular*, *sistema microscópico*, entre outras denominações (Gilbert e Treagust, 2009, p. 5).

Do ponto de vista didático, é útil distinguir *três aspectos do conhecimento químico*: fenomenológico, teórico e representacional. O aspecto fenomenológico diz respeito aos fenômenos de interesse da química, sejam aqueles concretos e visíveis, como a mudança de estado físico de uma substância, sejam aqueles a que temos acesso apenas indiretamente, como as interações radiação-matéria que não provocam um efeito visível, mas que podem ser detectadas na espectroscopia. Os fenômenos da química também não se limitam àqueles que podem ser reproduzidos em laboratório. Falar sobre o supermercado, sobre o posto de gasolina é também uma recorrência fenomenológica.

(...)

O aspecto teórico relaciona-se a informações de natureza atômico-molecular, envolvendo, portanto, explicações baseadas em modelos abstratos e que incluem entidades não diretamente perceptíveis, como átomos, íons, elétrons, etc. Os conteúdos químicos de natureza simbólica estão agrupados no aspecto representacional, que compreende informações inerentes à linguagem química, como fórmulas e equações químicas, representações dos modelos, gráficos e equações matemáticas (Mortimer *et al.*, 2000, p. 276-277, destaque nosso).

É interessante notar que, apesar de comumente empregados como referenciais equivalentes, os triângulos de Johnstone e de Mortimer e colaboradores apresentam algumas diferenças significativas. Além de ampliar a ideia de “macroscópico” de Johnstone, incluindo experiências cotidianas e dados instrumentais no aspecto “fenomenológico”, a questão da noção de representação, alvo da crítica de Araujo Neto (2009) ao trabalho de Johnstone, parece ser mais bem resolvida, na medida em que todos os aspectos representacionais parecem ser alocados no vértice relacionado ao aspecto “representacional”: os autores fazem clara distinção, por exemplo, entre as *explicações baseadas em modelos abstratos* e as *representações dos modelos*.

Apesar da aparente solução ao problema da representação, nem sempre parece haver consenso, até mesmo entre os autores, como evidencia o trecho abaixo, extraído do Currículo Básico de Ciências (CBC) para o estado de Minas Gerais, publicado em 2007, de cuja elaboração participaram dois dos autores do artigo anteriormente mencionado:

O *aspecto teórico* relaciona-se a informações de natureza atômico-molecular, ou seja, quando se trata de propor explicações dos fenômenos, baseadas em modelos abstratos e que incluem entidades não diretamente perceptíveis ou hipotéticas, como átomos, moléculas, íons, elétrons, etc., o professor ou o estudante está focalizando o aspecto teórico do conhecimento. *Assim também ocorre quando fórmulas ou funções matemáticas são aplicadas no estudo e na aplicação dos fenômenos.* O *aspecto representacional* compreende *informações inerentes à linguagem química*, tais como as fórmulas das substâncias, equações químicas, representações dos modelos, gráficos e equações matemáticas. (SEMG, 2007, p. 18, destaques nossos).

Além do problema dos planos de argumentação mencionados por Labarca (2010a), que também se faz presente nessa proposta ao integrar planos ontológicos e linguísticos como vértices de um mesmo triângulo, a pouca clareza acerca do papel das fórmulas e funções matemáticas, por exemplo, traz a tona mais uma vez a confusão entre representação e referente e evidencia a necessidade de discussões mais aprofundadas acerca da descrição da atividade do químico e da ciência química em si.

Em contraposição à confusão apontada, a diferença entre modelos explicativos e suas representações assume papel central em trabalho de Bucat e Mocerino (2009), quando defendem a “clara distinção entre a ‘realidade’ submicroscópica e suas representações”, ambas relacionadas ao universo macroscópico (Bucat e Mocerino, 2009, p. 11). A defesa baseia-se, entre outros argumentos, na apresentação de exemplos que sugerem o prejuízo à capacidade de previsão e explicação de fenômenos que se instaura quando estudantes atêm-se a desenhos dispostos em papel ou modelos moleculares materiais, em vez de elevar seu pensamento ao que tais desenhos de fato representam.

Um dos exemplos que pode ser destacado remete a observação de Kleinman e colaboradores (1987 *apud* Bucat e Mocerino, 2009) referente a um estudante que, quando perguntado sobre a existência de plano de simetria na molécula de bromobenzeno (cuja representação em papel foi a ele apresentada e pode ser vista na *Figura 5*), respondeu que tal simetria não existe, pois, considerando o átomo de bromo, $B \neq r$.

Figura 5. “Diagrama para a molécula de bromobenzeno, similar ao utilizado por Kleinman et al. (1987)” (tradução da legenda original). Extraído de Bucat e Mocerino (2009, p. 26).

Resultados semelhantes foram observados por Souza e Cardoso (2007, 2008 e 2009), considerando os conceitos de equilíbrio químico e dissolução. Em artigo publicado em 2008, os autores observaram que 27 estudantes de pós-graduação em Química descreveram o processo de dissolução de diferentes substâncias em água (NaCl, I₂, HCl e HCN) segundo seus aspectos *submicroscópicos*, através da escrita e da utilização de desenhos. Mesmo os estudantes que apresentaram bom desempenho na discussão da dissolução do NaCl, e até mesmo do HCl, não o tiveram nas demais questões. Menor riqueza de detalhes foi observada para as questões que tratavam da dissolução do HCN e do I₂, sugerindo maior dificuldade por parte dos estudantes na interpretação e previsão dessas situações. Em contrapartida, quase a metade dos estudantes teve sucesso na descrição do fenômeno de dissolução do NaCl, exemplo mais comumente presente nas salas de aula e em livros texto, resultados que permitiram sugerir que existem obstáculos à extrapolação dos conceitos químicos de exemplos particulares e suas representações (possivelmente memorizadas) a situações diversas. A *Figura 6* exemplifica o que foi exposto.

Figura 6. Representações propostas por um dos estudantes para a dissolução do cloreto de sódio (NaCl), iodo (I_2); gás clorídrico (HCl) e gás cianídrico (HCN) em água. Observar a riqueza de detalhes considerando, inclusive, as interações entre soluto e solvente, na representação dos eletrólitos fortes (NaCl e HCl) e a restrição de informações associada à representação de não eletrólitos (I_2) e eletrólitos fracos (HCN). Extraído de Souza e Cardoso (2007 e 2009).

Além da dificuldade de construção de modelos mais abstratos, no sentido de ampla aplicação a diferentes situações propostas, o trabalho de Souza e Cardoso (2008) também evidenciou dificuldades, por parte dos estudantes, na elaboração de representações de caráter mais diagramático condizentes com sua descrição em palavras. Dificuldades semelhantes também foram observadas por Smith e Metz (1996), Sanger (2000), Souza e Cardoso (2006), entre outros pesquisadores. Cabe destacar, porém, que os trabalhos mencionados, dedicaram-se explicitamente à discussão de distintos **níveis de representação** em química, não se voltando à abordagem filosófica (epistemológica e ontológica) de especial interesse para a presente pesquisa. Voltemos, assim, nossa atenção a essa abordagem.

No trabalho acima referido, Bucat e Mocerino (2009) definem o nível submicroscópico como o “*mundo dos átomos e seus derivados; íons e moléculas (...) inobservável, e acessível apenas através da imaginação*” (p. 12). A restrição da acessibilidade ao mundo submicroscópico a habilidades criativas e a manutenção das aspas para

referências à realidade tornou-se objeto de questionamento de alguns estudiosos, especialmente após a divulgação da captura de imagens de orbitais atômicos por técnicas de microscopia avançadas³ e manipulação de partículas nanométricas⁴.

Como exemplo bastante ilustrativo da atribuição de realidade cada vez maior às entidades submicroscópicas, pode-se citar Davidowitz e Chittleborough (2009), ao afirmar que “O nível sub-micro é real, mas não visível, de forma que sua compreensão pode ser difícil” (p. 172). Para essa defesa, os autores lançam mão de representação esquemática, cuja apresentação (ver *Figura 7*) torna-se pertinente:

Figura 7. Relação entre os três níveis das representações químicas e o real. Extraído de Davidowitz e Chittleborough (2009, p. 172).

No esquema proposto por Davidowitz e Chittleborough (2009), o nível macro, visível, e o nível sub-micro, invisível, compõem o que se assume por realidade, a qual deve ser representada pelo que o autor denomina “diagramas químicos”, entendidos como “representações simbólicas que apresentam imagens e informações sobre o nível sub-micro ou molecular” (Davidowitz e Chittleborough, 2009, p. 169). É importante chamar a atenção para o fato de que, apesar de definir diagramas como representações simbólicas, os autores mantêm o pressuposto de que existem três níveis de representação em química (macro, sub-micro e simbólico), os quais são, inclusive, mencionados na legenda da figura. Trata-se,

³ Vide, por exemplo, Zuo *et al.* (1999) e Mikhailovskij *et al.* (2009).

⁴ Vide, por exemplo, Chang *et al.* (2008).

portanto, de mais uma tentativa confusa de aplicação da estrutura triádica originada por Johnstone e modificada pelos diferentes autores mencionados ao longo dessa revisão.

Discutindo a apropriação por diferentes pesquisadores do que denominou “triplete” químico (referindo-se aos níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico), Talanquer (2011) propôs reflexão acerca do estatuto ontológico atribuído ao nível submicroscópico, e da restrição do critério de tangibilidade ao nível macroscópico:

Outro pressuposto que devemos questionar é a ideia de que o nível empírico ou descritivo dos fenômenos observáveis e tangíveis está restrito à escala macroscópica. Apesar de ser verdadeiro o fato de que a maioria das experiências dos estudantes, dentro e fora das aulas de química, parece envolver amostras macroscópicas de objetos e eventos, modernas tecnologias agora permitem que os químicos explorem a matéria em escalas mais variadas, do nível macro ao nano. Usando técnicas como escaneamento por microscópico de tunelamento e pinças ópticas, os cientistas estão aptos a explorar diretamente a superfície de materiais no nível atômico e manipular partículas de dimensões nano (...) Em um século em que a exploração científica e tecnológica e a manipulação do mundo *nano* está se tornando realidade, o componente tangível do triplete químico demanda reconceitualização. Uma falha nesse processo pode levar a mais confusão, uma vez que as pessoas buscam formas de incorporar a “realidade” do submicroscópico no quadro existente (Talanquer, 2011, p. 186).

A ambiguidade acima descrita entre macro e submicroscópico e a frágil distinção entre representação e representado mostra-se presente mesmo entre os profissionais envolvidos com o ensino de química, o que pode tornar inadequado o tratamento da dificuldade que estudantes apresentam em estabelecer diferenças entre experiências, modelos teóricos desenvolvidos para explicá-las e ferramentas visuais empregadas em sua comunicação (Talanquer, 2011).

Os três “tipos de conhecimento” mencionados (relacionados às experiências, modelos teóricos e ferramentas visuais) são dispostos por Talanquer (2011) nos vértices de um triângulo, cujos desdobramentos vão formando figura denominada “espaço do conhecimento químico” (*Figura 8*), que representa espaço multi-dimensional definido por

diferentes escalas/níveis, dimensões e abordagens possíveis para cada um dos tipos de conhecimento.

Figura 8. Representação espacial do conhecimento químico, segundo Talanquer (2011).

Apesar de trazer importante contribuição para a diferenciação entre o conceito (modelo), mais abstrato, e a “visualização”, de caráter mais concreto, sua alocação em vértices distintos de um triângulo parece tentar separar momentos da construção do conhecimento químico que nos parecem indissociáveis, uma vez que a materialização de um modelo (seja mesmo na mente de quem modela) só é possível se mediada por múltiplas representações/visualizações. Tal argumento é reforçado pela “caixa” disposta no canto superior direito da figura proposta por Talanquer (2011), que associa modelos e visualizações a aspectos representacionais, em contraposição aos aspectos experienciais. Entendemos, e esse entendimento será posteriormente reforçado pelo referencial semiótico de análise, que o modelo só pode atuar como representação se representar algo para alguém. Tal processo deve ser sempre mediado, de forma que sua distinção em relação às visualizações parece dissipada.

Como última tríade a ser mencionada antes da apresentação dos objetivos desta pesquisa, cabe destacar os significados atribuídos aos termos macro e microscópico por van Brakel (2000), que diferem dos apresentados até o momento. Para o autor

Se pintarmos em traços largos, “macroscópico” corresponde ao “manifesto” e “(sub)microscópico” ao “científico”, mas distinções mais finas são necessárias no que segue (...) A distinção micro/macro se aplica a *níveis de descrição* tanto na física quanto na química (...) O exemplo prototípico de teoria macroscópica é a teoria termodinâmica (tanto na física quanto na química). Teorias microscópicas introduzem moléculas. Exemplo prototípico é a mecânica estatística. A química quântica e a mecânica quântica referem-se a nível “mais profundo” de descrição ao qual me referirei como “submicroscópico” (van Brakel, 2000, p. 47).

Como mais uma alternativa triádica, van Brakel não restringe os construtos científicos a um único “vértice”, mas expande as denominações macro, micro e submicro a níveis de descrição teóricos, aparentemente “driblando” os problemas filosóficos atribuídos por Labarca ao triângulo de Johnstone, por exemplo. Em outras palavras, o autor não se preocupa em distinguir representação e representado, de forma que não incorre em confusão relacionada a planos de argumentação. Sua abordagem talvez possa ser aproximada dos níveis/escalas propostos por Talanquer (2011), com o diferencial de que tenta associar construtos teóricos amplos (como a termodinâmica e a química quântica) a níveis exclusivos. A análise mostra-se, assim, limitada às dimensões das entidades consideradas na teoria sob investigação, e exclui questões ontológicas, especialmente importantes no processo de construção/comunicação do conhecimento químico.

É na reconceitualização não apenas dos níveis que compõem o “tripleto”, mas das diferentes tríades apresentadas – tanto as referentes à atividade química quanto ao ensino de química – que reside o **primeiro objetivo** do presente trabalho, dada a carência de clareza acerca do objeto a que se referem (níveis de representação, compreensão, conhecimento, etc.) e a evidente confusão entre planos de argumentação. O referencial

teórico utilizado nessa empreitada é o diálogo proposto entre a contemporânea filosofia da química e a filosofia de Charles Sanders Peirce (1839-1914), com especial destaque para a Semiótica, enquanto ciência geral de todas as linguagens (verbais e não verbais), ou ainda, como a ciência dos signos, aqui entendidos como aquilo que potencialmente representa algo para alguém (Santaella, 2000). A escolha do filósofo estadunidense deveu-se, principalmente, a seu interesse pela lógica das ciências e dos métodos do conhecer, que o levou a transitar por diferentes áreas do conhecimento, incluindo a química. É quase irresistível mencionar que a presença de tríades é bastante marcante na obra de Peirce, constituindo mais um fator que nos aproximou de suas teorias.

Considerando nosso especial interesse nas questões relacionadas ao ensino da química, e buscando forma de discussão das contribuições e limitações do referencial teórico proposto, tem-se como **segundo objetivo** a caracterização das estratégias de comunicação imagéticas do conhecimento químico empregadas por autores de livros de Química Geral circulantes no contexto universitário brasileiro ao longo do século XX sob a perspectiva do referencial teórico elaborado. Associada a esse objetivo está a tentativa de buscar correlações entre o perfil temporal das representações investigadas, a evolução no conhecimento químico, e as diferentes concepções sobre a própria ciência química e seu ensino ao longo do século XX, o que pode ser proposto como **terceiro objetivo** da pesquisa.

A escolha de livros didáticos (LDs) como objeto de pesquisa está associada à sua característica de síntese do “consenso disciplinar” de determinada área, mais que uma forma de promoção da visão organizada do conteúdo trabalhado, que torna possível tomá-los como forma de aproximação das ideias e concepções acerca da ciência química divulgadas em diferentes períodos.

No que se refere à análise do conteúdo imagético, lançamos mão das considerações

de Nöth e Santaella (1998), segundo as quais as imagens distribuem-se nos domínios *visual* (material), representado nos desenhos, pinturas, fotografias, imagens televisivas, etc., e *imaterial*, composto pelas imagens em nossa mente, no qual as imagens aparecem como visões, fantasias, imaginações, esquemas e modelos. Acreditamos que, nesse contexto, a análise das imagens presentes em livros didáticos assume especial importância na área da química, uma vez que boa parte delas busca a representação de entidades pertencentes ao plano teórico, ou seja, a atividade química (e seu ensino) envolve constantemente a materialização do imaterial ou, nos termos de Nöth e Santaella (1998), a transição entre o domínio imaterial e o visual.

Isso posto, passemos à fundamentação teórica e desenvolvimento da pesquisa.

Ceci n'est pas une pipe, René Magritte, 1926. Fonte: <http://www.wikipaintings.org/en/rene-magritte>.

Contextos, conceitos e construção de um referencial teórico

Capítulo 2

Contextos, conceitos e construção de um referencial teórico

A busca pelos objetivos acima propostos pressupõe a integração de diferentes abordagens da ciência química, perpassando a construção de seu conteúdo, as opções curriculares envolvidas em sua comunicação e as questões concernentes à própria estrutura dessa ciência. Dessa forma, nosso arcabouço teórico será constituído sobre a construção histórica do conhecimento químico (contexto ou eixo histórico) e sobre como poderíamos entender a ciência química a partir das instâncias mencionadas (contexto ou eixo filosófico). Considerando que a compreensão filosófica da ciência química, construída a partir do diálogo com a filosofia peirceana, será utilizada como referencial para análise das estratégias de comunicação do conhecimento químico adotadas por autores de LDs, a pesquisa também possui eixo marcadamente pedagógico. A discussão de cada um desses contextos, bem como dos referenciais teóricos que os sustentam, é apresentada a seguir.

2.1. Contexto histórico

Considerando que todas as áreas do conhecimento possuem metodologias e finalidades específicas que foram socialmente e processualmente construídas, a existência de qualquer ciência pressupõe a existência de fatos anteriores. É inegável, assim, a contribuição da história na construção da identidade e autonomia de determinada área do conhecimento, de forma que “a ciência não pode prescindir, para se pensar a si mesma, do conhecimento do seu passado próximo ou remoto, que é o seu modo histórico de formação, a sua própria ontogenia” (Sousa, 1996, p.3).

A questão da identidade assume significado especial quando retomamos a questão da dificuldade de delimitação do campo de estudo da química, sobre a qual refletem Bensaude-Vincent e Stengers (1992):

Eis um saber de múltiplas faces, com ramificações inumeráveis tanto nas profundezas da terra como no espaço, que interessa tanto à agricultura, à indústria pesada e fina, como à farmacologia... Eis uma ciência que atravessa as fronteiras entre o inerte e o vivo, entre o microscópico e o macroscópico. Como atribuir uma identidade a uma ciência que parece estar ao mesmo tempo em todo o lado e em lado algum? (Bensaude-Vincent e Stengers, 1992, p. 11).

Na tentativa de busca da caracterização da ciência química por meio de sua história, especialmente no período de 1800 a 1950, Mary Jo Nye (1993) coloca o caráter utilitário da química, apesar de associado a seu rechaço enquanto ciência genuína no sentido kantiano (referindo-se à química do século XVIII), como um marcador de identidade disciplinar (Nye, 1993). Mediante tal afirmação, porém, não se pode olvidar a constante dicotomia entre caráter prático e teórico presente ao longo dos séculos XVIII e XIX, que levou os praticantes da ciência química a oscilar do empirismo ao realismo ingênuos (Nye, 1993).

A referida dicotomia, porém, não constitui privilégio dos séculos XVIII e XIX. Considerando a importância dos movimentos entre a química descritiva-indutiva (comumente denominada “prática”) e a química hipotético-dedutiva (“teórica”), especialmente para a compreensão de suas estratégias de comunicação, passemos a algumas considerações sobre a questão, destituídas da ambição de um estudo histórico mais profundo, o que demandaria programa de pesquisa exclusivo.

Mesmo o ideário alquímico foi marcado por tentativas de teorização das práticas místicas e mágicas, a partir de alegorias e elementos de cosmologia, para “transformá-las em árduas práticas de laboratório da alquimia” (Alfonso-Goldfarb, 1987, p. 63). E por mais que as referidas teorizações fossem derivadas, em grande parte, de deduções por analogias

que podem parecer absurdas no contexto da química contemporânea, é importante destacar que seu uso era racional e plausível no contexto em que foram empregadas.

A medida, porém, que a estrutura aristotélica foi perdendo sua força explicativa, acentuadamente no século XVII, vão sendo necessárias outras abordagens para a interpretação dos fenômenos naturais. A corrente mecanicista, que tem em René Descartes um de seus principais expoentes, surge nesse contexto defendendo que não existem qualidades ocultas, mas um contínuo de matéria, no qual a relação entre partículas infinitamente divisíveis pode ser explicada em termos mecânicos de movimento perfeitamente quantificável.

Apesar do tratamento dedutivo matemático proposto por Descartes, segundo o qual a percepção sensorial é fonte de erros, da Inglaterra, por intermédio de Francis Bacon, parte proposta contemporânea de que a experimentação seria a única forma de proposição de teorias mais gerais sobre a natureza (Rossi, 2006). Para Bacon, “o verdadeiro ‘filósofo natural’ seria aquele que sabe manter o equilíbrio entre os empiristas (formigas que apenas empilham dados sobre dados) e o filósofo puro (aranhas que apenas tecem efêmeras teias sobre a realidade)” (Alfonso-Goldfarb, 1987, p. 175). Entre o dedutivismo cartesiano e o indutivismo baconiano pode-se incluir o método de Galileu Galilei, que propunha modelos teóricos por vias dedutivas e os testava pela via experimentalista ⁵.

Considerando as influências dessas correntes sobre o conhecimento químico, Alfonso-Goldfarb (1987) pondera que

⁵ Para mais sobre as relações entre Descartes, Bacon e Galileu, ver Debus (1999).

Talvez pela complexidade intrínseca dos fenômenos observados numa reação, parecia impossível introduzi-los a uma análise ‘mecanicista’ em termos exclusivos de matéria e movimento. Tinha-se a impressão de que tais fenômenos permaneceriam melhor explicados dentro do antigo ideário das ‘qualidades’ e ‘simpatias’ [...] Mesmo a filosofia cartesiana [...] acabaria por falhar no caso da química. Pois, na medida em que assume a matéria como um contínuo sem lugar para o vácuo e as entidades atômicas⁶, acaba por abolir a possibilidade de uma justificativa ainda que grosseira, da relação mecânica entre as partículas que constituíam o substrato da matéria (Alfonso-Goldfarb 1987, p. 180-181).

Nesse contexto, os trabalhos de Torricelli, Pascal, Mayow e Boyle merecem destaque pois, ao admitir a existência real do vácuo, permitiram a reformulação das explicações propostas a fenômenos químicos. Isso se deu, marcadamente pelas investigações e interpretações elaboradas por Robert Boyle que, mesmo tendo iniciado seus estudos através da alquimia, sob forte influência da filosofia baconiana atribuiu novo significado à experimentação, como meio de teste de teorias e elaboração de hipóteses: “[o experimento] deixa de ser a síntese do cosmo para se transformar no possante instrumento de análise das partes da grande máquina em que o universo estava sendo transformado” (Alfonso-Goldfarb 1987, p. 187).

Em sua obra *The Sceptical Chymist*, Boyle, utilizando-se por vezes de um diálogo platônico, vai descontruindo a teoria dos “princípios” alquímicos e dos “elementos” aristotélicos e introduzindo elementos mecanicistas na forma da teoria corpuscular, através da apresentação e discussão de resultados experimentais, nem sempre robustos a ponto de permitirem teorizações que parecessem convincentes a boa parte dos pesquisadores da época. Encontraremos, ainda, teorias influenciadas pelas ideias alquímicas, com a teoria do flogístico, proposta ao final século XVII, cujos anos também figuraram, portanto, como palco de batalhas entre experimentalistas e teóricos.

⁶ Ao determinar a continuidade da matéria, Descartes admitiu a presença de um tipo de “éter” envolvendo as partículas materiais para que pudesse explicar o movimento das partículas.

Conforme mencionado anteriormente, tal embate estendeu-se pelos séculos seguintes. Nye (1993) afirma que, em sua maioria, os químicos do século XIX evitaram modelos mecânicos, algébricos e matemáticos, e qualquer aproximação de posturas realistas, configurando epistemologia pragmática caracterizada por metáforas, imagens, classificações e convenções. O estabelecimento das causas mecânicas como objetivo da “filosofia química” em consonância com os objetivos da “filosofia natural” eram classificados como prematuros por Lavoisier já no século XVIII, para quem os objetivos da química eram idênticos às operações dessa ciência, ou seja, descritivos e concretos (Nye, 1993). Nesse contexto, o foco na estrutura e função substituiu a preocupação com as causas e mecanismos.

O surgimento da Química Teórica ao final do século XIX que, dentre outros objetivos, buscava a aplicação da teoria termodinâmica à química de soluções e à eletroquímica, reaproxima alguns químicos, mas não todos, da compreensão dos mecanismos subjacentes às funções químicas. Tem-se, mais uma vez, a dicotomia entre química prática e química teórica, materializada, por exemplo, nas figuras de Berthelot e Hermann Kolbe, na primeira perspectiva, e de Dumas⁷, Dalton, Berzelius e Kekulé na segunda (Nye, 1993). No bojo da perspectiva teórica, sob influências hipotético-dedutivas, residia a teoria atomista, tomada não como realidade inquestionável, mas antes como explicação útil⁸. Ao mesmo tempo, o sucesso da teoria da substituição e da teoria dos tipos na Química Orgânica levou muitos

⁷ É interessante destacar que, apesar de inicialmente envolvido com o método “filosófico”, mecânico, de aproximação dos fenômenos químicos, Dumas viu-se num estado de transição em meados dos anos 1830, período em que elaborou as teorias da substituição e dos tipos, que dele exigiram postura descritiva e indutiva.

⁸ Harman (1982) traz citação de Kekulé que, em 1867, escreveu “O atomismo químico não foi baseado na suposição da real existência dos átomos como partículas indivisíveis, mas em sua aplicação para a explicação de reações químicas e da estrutura de compostos químicos” (Harman, 1982, p. 126).

químicos a distanciar-se do uso de hipóteses e representações algébricas e dedicar-se à abordagem empírica e descritiva (Nye, 1993; Camel, Koehler e Filgueiras, 2009).

Mesmo dividindo espaço com inúmeras categorias e classificações propostas para as reações químicas e compostos delas derivados, especialmente no contexto da Química Orgânica, a Físico-Química assumiu papel relevante na renovação epistemológica da Química nas últimas décadas do século XIX. As já mencionadas eletroquímica e termodinâmica, aliadas às recentes observações relativas à radioatividade, fizeram dos modelos cinéticos mais que estratégias explicativas, estratégias de exploração do não observável (Bensaude-Vincent e Stengers, 1992). As interpretações impostas e bem sucedidas por esse modelo à pressão osmótica, condutividade de soluções, movimento browniano e comportamento dos colóides levam Jean Perrin a publicar em 1913 sua marcante obra, *Les Atomes*, capaz de levar mesmo os mais céticos, como Wilhelm Ostwald, a refletir sobre a possível realidade ontológica dos átomos (Bensaude-Vincent e Stengers, 1992; Chagas, 2003).

No mesmo ano de 1913, Niels Bohr publica seu modelo quântico para o átomo de hidrogênio. Ao longo das décadas de 1920 e 1930, e mais intensamente a partir de 1927, quando é proposta a nova teoria quântica, vários físicos desenvolveram teorias e técnicas matemáticas que teriam por objetivo criar uma química teórica e matematizada. De fato, nos anos 1950 a “química teórica”, englobando disciplinas como físico-química, físico-química orgânica e química quântica, já era reconhecida como área do conhecimento (Nye, 1993).

Como pano de fundo, e agente determinante destes últimos acontecimentos, deve-se destacar a revolução ocorrida nos métodos de análise entre as décadas de 1920 e 1950. Antes de 1920, a composição dos materiais e substâncias era determinada pela observação de seu comportamento frente a uma série de compostos conhecidos. Depois de 1950, tal

composição passou a ser determinada pelas propriedades físicas de seus componentes, medidas por instrumentos (Baird, 2002). Ainda segundo Baird (2000), a primeira fase, à qual denominou *wet chemistry*, dependia da química. A espectroscopia, contrariamente, dependia mais da física, nas vertentes da óptica, engenharia mecânica e da física quântica, que ajuda a explicar o significado e origem das linhas espectrais.

É nesse contexto que afloraram mais intensamente duas tradições filosóficas que ainda hoje influenciam significativamente as questões relacionadas à filosofia da química e, mais especificamente, à sua epistemologia: o *reducionismo*, segundo o qual o conhecimento químico pode ser reduzido a princípios físicos mais fundamentais e, por esse motivo, explicativos; e o *realismo*, associado à migração do caráter heurístico ao ontológico atribuído à hipótese atômica, especialmente a partir dos trabalhos de Jean Perrin, e, de certa forma, fortalecido pela objetividade (no sentido de redução ou eliminação da subjetividade decorrente da interpretação humana⁹) atribuída aos instrumentos de análise. Dada sua importância para a compreensão dos aspectos filosóficos da ciência química, tais conceitos serão ampliados na próxima seção.

Antes, porém, algumas considerações sobre o uso das representações ao longo da história da química são necessárias, dado o objeto sob investigação.

2.1.1. Representações na história da química – Breves considerações

Em seu livro *“Imagens de Magia e Ciência”*, Beltran (2000) discute as relações entre texto e imagem, especialmente referentes à técnica de destilação, presentes em importantes obras alquímicas medievais, bem como nos livros impressos publicados nos primórdios da ciência química. Nesse percurso, observou que modificações nas técnicas de

⁹ Ver mais em Baird (2000).

elaboração e reprodução das imagens relacionavam-se a transformações no próprio papel que as ilustrações passaram a ter nos livros referentes às ciências e às técnicas. Se nos primórdios da imprensa (séculos XV e XVI), as imagens assumiam papel predominantemente estético e auxiliar na compreensão do texto pelos iletrados, elas passaram, destacadamente no século XVII, a ser peças fundamentais na transmissão dos conhecimentos técnicos (Beltran, 2000).

Ao longo desse período, imagens concernentes a analogias e simbolismos, próprios da alquimia, conviviam com ilustrações das técnicas empregadas por alquimistas, artesãos e boticários. Sua distribuição, porém, sofreu significativas alterações, decorrentes, principalmente, das modificações culturais e mesmo científicas ocorridas na época: novas formas de compreensão e descrição da natureza eram buscadas (a própria abordagem mecanicista apresentada anteriormente, é exemplo disso) e os conhecimentos técnicos passam a ser cada vez mais valorizados. O resultado disso foi que, a partir do final do século XVII, as imagens simbólicas da alquimia eram cada vez menos frequentes e as ilustrações referentes a aparatos e procedimentos técnicos eram elaboradas com exatidão cada vez maior. A preocupação com a fidedignidade das representações fica clara nas palavras de Beltran acerca do processo de destilação (2000):

As imagens químicas [...] sendo exatamente reproduzidas em um número quase infinito de vezes, passariam a ser idênticas a si próprias e consideradas como representações fiéis e legítimas dos aparatos de destilação (Beltran, 2000, p. 127).

O ápice de tal processo ocorre no século XVIII. Merece destaque a reforma da linguagem química iniciada por Lavoisier, quando a matéria e suas transformações não mais eram representadas por intermédio de semelhanças e alegorias, mas por estratégias baseadas exclusivamente na composição dos materiais. Dessa forma, aumentou a

importância da estratégia de estabelecimento de convenções para os objetos sob investigação. Considerando os símbolos (textuais ou não) como instrumentos na construção de novos conhecimentos e na divulgação do conhecimento já estabelecido, o curso da pesquisa química no século XIX e início do século XX tornou-se intimamente ligado tanto às convenções de linguagem e imagem quanto aos instrumentos construídos pelos químicos (Nye, 1993; Klein, 2003).

Passando pelas primeiras propostas de Dalton e Berzelius, o aprofundamento nas questões de composição e estrutura levou a outras estratégias de representação, ainda no século XIX, estendendo-se ao século XX (Vollmer, 2006). Especificamente considerando a questão estrutural em química, Francouer (2000) afirma que, historicamente, as teorias que classicamente buscaram resolver a questão da estrutura dos compostos químicos constituíram-se concomitantemente ao desenvolvimento de técnicas gráficas não textuais. Exemplos são a inclusão, proposta por Couper, das ligações químicas nas representações estruturais, a representação de isômeros geométricos proposta por Werner em 1890 e a representação dos ângulos de ligação introduzida por Smith.

É importante ressaltar, nesse momento, o papel que as representações de entidades químicas (tanto em desenhos como em modelos materialmente construídos) assumiram e assumem na construção e divulgação do conhecimento químico. Além de auxiliar a visualização de propriedades geométricas complexas, as representações podem participar ativamente da elaboração de hipóteses, como observado no desenvolvimento da estereoquímica (Francouer, 2000).

Para Grosholz e Hoffman (2000), certos tipos de representações (denominadas *icônicas* pelos autores) são importantes, ainda, na construção do realismo pretendido pelos químicos. Burewicz e Miranowicz (2003) compartilham da mesma opinião, afirmando que,

para os químicos, a visualização (entendida como transformações impostas aos dados experimentais para facilitar a geração de imagens) possui importante papel ontológico. Para os autores, quando os químicos são bem sucedidos na visualização de determinados objetos, passam a considerá-los como efetivamente existentes.

A questão do realismo insiste, nesse contexto, e é a partir dessa insistência que passamos à próxima seção, não sem antes apresentar brevemente alguns pressupostos filosóficos mais gerais que orientam essa pesquisa.

2.2. Contexto filosófico

Em texto publicado em 1990, Luckesi nos convida a refletir sobre a importância da filosofia, bem como dos métodos dos quais se utiliza para produzir conhecimento. Em seu percurso, apresenta dimensões complementares sobre a atividade filosófica destacadas por diversos autores, buscando, principalmente, desconstruir pré-conceitos associados a essa prática, dentre os quais destacamos aqui a ideia de que o conhecimento filosófico é inútil por ser desvinculado de nossa existência diária (Luckesi, 1990).

Entre os autores destacados está Karl Jaspers que, em obra publicada em 1978, deixa clara sua percepção do papel das experiências humanas enquanto “insumo filosófico”:

Seja a filosofia o que for, está presente em nosso mundo e a ele necessariamente se refere. Certo é que ela rompe os quadros do mundo para lançar-se no infinito. Mas retorna ao finito para aí encontrar o seu fundamento histórico sempre original. Certo é que tende aos horizontes mais remotos, horizontes situados para além do mundo, a fim de ali conseguir, no eterno, a experiência do presente. Contudo, nem mesmo a mais profunda meditação terá sentido se não se relacionar à existência do homem, aqui e agora. A filosofia entrevê os critérios últimos, a abóboda celeste das possibilidades e procura, à luz do aparentemente impossível, a vida pela qual o homem poderá enobrecer-se em sua existência empírica (Jaspers, 1978, p. 138 *apud* Luckesi, 1990, p. 38).

Refletindo sobre esse trecho, Luckesi (1990) acrescenta que a filosofia visa construir conhecimento coerente e crítico sobre o mundo. Para isso, apesar de refletir sobre dados de nossa experiência diária, precisa “descolar-se dessa realidade empírica para, no nível do pensado, deslindá-la e, assim, possibilitar ao ser humano uma orientação segura para sua prática” (Luckesi, 1990, p. 38).

Desses trechos é possível depreender que a filosofia, ao fornecer concepções de mundo, orienta e define formas de ação (presentes e futuras) e que, ao agir consciente de tais concepções, e atuando criticamente sobre elas, todo homem é potencialmente um filósofo. O oposto de tal consideração seria a alienação em relação aos conceitos que significam nossa forma de ação, o que levaria, assim, a conduta não filosófica.

Trazendo a discussão para as ciências, mais especificamente da Natureza, a importância do exercício da filosofia aplicado a essa forma de conhecimento torna-se inegável, ao entendermos que tal exercício implica questionar explícita e conscientemente o sentido não só dos conhecimentos produzidos pela ciência, mas também de sua forma de produção. Tal assertiva fica ainda mais evidente se considerarmos a natureza humana e, assim, histórica e social, do conhecimento científico e se admitirmos a perspectiva de Leoncio Basbaum (1978), de que esses mesmos agentes condicionantes são aplicáveis ao empreendimento filosófico: “A filosofia é a concretização de um espírito ou de uma ideia que surge como consequência das necessidades de uma época ou de uma classe, em geral de ambas as coisas” (Basbaum, 1978, p. 315). A defesa de que a pesquisa científica filosoficamente instruída deve ser mais criteriosa do que a pesquisa simplesmente empírica (Justi e Gilbert, 2002), assume, nesse contexto, relevante coerência.

Se considerada a ampliação do conceito de ciência para “conduta racional do homem no universo”, como sugere a filosofia de Charles Sanders Peirce (Silveira, 1993), que será

tomada como um referencial neste trabalho, a história da filosofia da ciência confunde-se com a própria história da filosofia. Se considerarmos, porém, especificamente as filosofias da Física, Química e Biologia, enquanto “ciências da Natureza”, seu desenvolvimento apresentou algumas particularidades.

Apesar de as principais subdivisões da Biologia (embriologia, citologia, fisiologia, evolução e genética) terem se estabelecido entre os anos de 1828 e 1866 (Mayr, 2005), e a Química dispor de considerável popularidade desde esse mesmo período, foi a Física a ciência tomada como modelo quando as críticas acerca da Filosofia Tradicional (ou Idealista) começaram a demandar maior sistematização e aproximação com a forma científica de busca de conhecimento. Nesse contexto, destaca-se o Círculo de Viena, grupo de filósofos assim autointitulados, ao afastar qualquer argumento metafísico e defender que todas as proposições significativas deveriam ser ou logicamente necessárias ou verificáveis por meio da experiência (Hamlyn, 1990).

A mencionada supervalorização da ciência Física, incrementada pelo sucesso da mecânica quântica no início do século XX, levou à negligência quase total dos problemas filosóficos da Biologia, até os anos 1970, e da Química, de forma que as primeiras conferências, sociedades e publicações específicas oriundas do diálogo entre químicos, historiadores e filósofos surgiram apenas na década de 1990 (Schummer, 2003).

Considerando, especificamente, o caso da Química, Schummer (2003) e Labarca (2010b) ainda destacam outros fatores que poderiam estar associados ao desenvolvimento tardio de sua Filosofia, como sua aproximação com os meios produtivos, a associação com problemas ambientais sugerida pelos meios de comunicação, a suposta falta de interesse pelas questões de ordem metafísica e, finalmente, a ausência de uma “crise” que tenha marcado a evolução da ciência química. Apesar disso, os temas que têm ganhado destaque

na Filosofia da Química evidenciam a maior profundidade das marcas deixadas pela mecânica quântica.

Ainda que questões relacionadas à ética, metodologia e implicações da filosofia para o ensino de química façam parte do escopo de temas sob investigação por essa área emergente (Labarca, 2000b; Schummer, 2006), a nenhuma delas têm sido dedicadas tantas publicações quanto às questões de ordem epistemológica e ontológica.

No que se refere à epistemologia, Pessoa Junior (2003) apresenta três questões principais: a essência do conhecimento (O que é?), suas possibilidades e limites (O que podemos conhecer? Com que extensão?) e sua origem. Deve-se acrescentar, ainda, a diferenciação entre conhecimento e opinião como área de investigação epistemológica, ou seja, a questão da justificação do conhecimento¹⁰. Trazendo tal abordagem para o contexto da ciência Química, surgem como principais questões de cunho epistemológico as relacionadas com os limites do conhecimento químico¹¹, com o pluralismo metodológico e com o estatuto atribuído aos modelos no processo de construção de novos conhecimentos. Associadas a essas questões, surgem as vertentes epistemológicas do realismo e do reducionismo, abordagens que, conforme mencionado anteriormente, têm sido alvo de amplo debate pelos pesquisadores em filosofia da química.

O reducionismo científico, de maneira geral, engloba um conjunto de reivindicações ontológicas, epistemológicas e metodológicas que buscam responder se as propriedades, conceitos, explicações ou métodos de um domínio científico (geralmente em níveis mais elevados de organização) podem ser deduzidas ou explicadas pelas propriedades, conceitos,

¹⁰ Para maior aprofundamento nas questões relativas à definição das áreas de ação da epistemologia, ver Steup (2010).

¹¹ Sobre esse tópico, Schummer (2006) destaca, por exemplo, a relação que alguns filósofos da química de postura essencialista estabelecem entre a determinação estrutural e a completude do conhecimento acerca das substâncias.

explicações ou métodos de outro domínio da ciência (Brigandt e Love, 2010). No que se refere ao reducionismo epistemológico, o caso mais discutido pelos filósofos da química é a possibilidade de redução de todas as leis, teorias e conceitos fundamentais aos primeiros princípios da mecânica quântica. Tal discussão implica o questionamento e avaliação da *autonomia* da ciência química em relação à física, a qual tem sido objeto de discussão de diferentes pesquisadores da área¹².

Já o realismo epistemológico encontra-se associado à tese de que existe uma realidade externa que independe da mente interpretativa (realismo ontológico) e assume que podemos conhecer aspectos dessa realidade. Merece destaque o *realismo teórico* que, segundo Niiniluoto (2002), propõe que os conceitos de verdade e falsidade são, em princípio, aplicáveis a todos os produtos linguísticos da investigação científica, o que incluiria relatórios, leis e teorias. Nesse último caso, cabe destacar, reivindica-se valor de verdade a entidades não observáveis.

Quando o olhar é direcionado às questões ontológicas, relacionadas ao que existe (ao que *de fato é*), suas características e relações (Hofweber, 2010), outras incursões filosóficas tornam-se possíveis. Entre elas, Schummer (2006) propõe o questionamento sobre os objetos básicos da ciência química e sobre a realidade desses objetos, bem como a distinção entre o natural e o sintético. Considerando a primeira questão, o autor afirma que, seguindo o exemplo da microfísica, alguns filósofos, e mesmo químicos, defendem que tais objetos seriam os átomos e moléculas, ao passo que outros defendem que as substâncias, ou ainda que as transformações, assumam tal posição. Sobre esse último caso, Schummer (2006) esclarece que a opção por considerar os objetos básicos da química como sendo as

¹² Para citar apenas alguns poucos exemplos, podemos destacar Janich e Psarros (1998), Earley (2003), Lombardi e Labarca (2005) e Vihalemm (2011).

substâncias ou transformações, divide os filósofos/químicos entre os adeptos de uma filosofia da substância ou de uma filosofia processual:

Filósofos da substância definem uma reação química pela modificação de certas substâncias, enquanto filósofos processuais definem uma substância por meio de suas reações químicas características. Uma terceira opção (...) combina substâncias e processos em uma rede de relações dinâmicas, como o próprio objeto da pesquisa química, uma vez que substâncias e reatividade definem-se mutuamente (Schummer, 2006, p. 2).

Tal assertiva ilustra bem a influência que certos compromissos ontológicos podem exercer sobre as posturas epistemológicas.

Nesse ponto, é importante lembrar que, assim como as posturas realistas e reducionistas possuem uma vertente epistemológica, possuem, também, dimensões ontológicas que merecem ser discutidas. No que se refere ao reducionismo, sua extensão ontológica sugere que os objetos da química não passam de objetos mecânico-quânticos. Sob essa perspectiva, a estrutura molecular, por exemplo, seria considerada como “iluminadora e poderosa metáfora” (Wooley, 1982 *apud* Labarca, 2006). Labarca ainda completa que esse pressuposto assume que a física descreve as estruturas mais profundas e fundamentais da natureza, enquanto a química assumiria papel secundário ao dedicar-se a entidades “metafóricas”, sem existência real (Labarca, 2006, p.5), argumento que remete à discussão do realismo ontológico.

Conforme mencionado anteriormente, o realismo ontológico (contrário ao idealismo) é a corrente que defende a existência de uma realidade externa independente das mentes interpretadoras, e que serve como pressuposto fundamental e necessário para o realismo epistemológico (Niiniluoto, 2002). A forma de apropriação dessa relação pelos químicos merece destaque, dada sua especial importância para o desenvolvimento da presente pesquisa, motivo pelo qual será explicitada em tópico específico a seguir.

2.2.1. Realismo na ciência química: entre entidades e teorias

Em trabalho publicado em 2006, Schummer reiterou sua defesa de que, em contraposição ao *realismo associado às teorias*, o *realismo associado às entidades* configura ideal metodológico mais adequado para a ciência química. Argumentação em favor dessa defesa é fornecida por Scerri ao afirmar que

[...] começando pelo trabalho de Perrin e Einsten e culminando nas imagens dos átomos fornecidas pela microscopia de tunelamento, disponíveis ao final do século XX, a existência física dos átomos tornou-se cada vez mais convincente (Scerri, 2007, p.69).

Os argumentos acima defendidos evidenciam que entidades restritas ao universo teórico e, por vezes, ao imaginário dos químicos do século XIX assumem, a partir do século XX, estatuto de existentes concretos. A contraposição das asserções de Schummer (2006) e Scerri (2007) com a defesa de Kekulé explicitada por Nye (1993) deixa clara a modificação de tal postura filosófica:

A questão da existência ou não dos átomos... pertence à metafísica. Em química temos apenas que decidir se a suposição da existência de átomos é uma hipótese aplicável à explicação de fenômenos químicos... [e] se um desenvolvimento posterior da hipótese atômica garante o avanço de nosso conhecimento sobre os mecanismos dos fenômenos químicos (Kekulé, 1867 *apud* Nye, 1993, p. 70).

O trecho acima, além de explicitar o caráter não fundamental do estatuto ontológico dos átomos, também evidencia o caráter utilitário e temporário atribuído às teorias, reforçado pela própria filosofia da ciência ao longo do século XX, destacadamente com os trabalhos de Kuhn (2007), ao combater posturas progressistas, cumulativas e, assim, realistas em relação às teorias. O que se pode constatar, portanto, é um “descolamento” das entidades corpusculares (átomos e moléculas) de um contexto teórico carregado de temporalidade e influenciado pelo momento histórico, e sua adesão ao plano ontológico, de existência concreta.

Expressão significativa do referido descolamento encontra-se no *realismo experimental* proposto por Ian Hacking, em uma de suas primeiras versões, em 1982. No artigo *Experimentation and Scientific Realism*, Hacking (1982) defende a distinção entre o realismo aplicado às teorias e o aplicado às entidades. Para o filósofo, existe significativa diferença entre realizar experimentos que permitam levantar propriedades gerais de certa entidade e manipular tais entidades visando observar efeitos sobre algo externo a ela. Em trecho bastante ilustrativo do que denomina *argumento experimental para o realismo* (Hacking, 1982, p. 161), o autor estende-se na apresentação de propriedades dos elétrons empregadas na obtenção de certos fenômenos como, por exemplo, a possibilidade de sua polarização pelo *Stanford Linear Accelerator Center* (SLAC), no início dos anos 1970. Considerando esse fato, propõe a análise que segue

(...) Em certo momento fazia sentido duvidar da existência dos elétrons. Mesmo depois que Thomson mediu a massa de seus corpúsculos e Millikan sua carga, a dúvida ainda fazia sentido (...) Em certo momento, a melhor razão para acreditar na existência dos elétrons deveria ser o sucesso na proposição de explicações. Lorentz explicou o efeito Faraday por meio de sua teoria eletrônica. Mas a habilidade de explicar não fornece garantias de verdade (...) Por sorte, já não temos a pretensão de inferir por meio do sucesso explicativo. Prescott e a equipe do SLAC não explicam fenômenos por meio dos elétrons. Eles sabem como usá-los (Hacking, 1982, p. 167).

Para Hacking, o convencimento acerca da realidade ontológica (existência concreta) dos elétrons vem, portanto, da capacidade de construirmos dispositivos – e termos sucesso nessa empreitada – que, lançando mão das propriedades dessas partículas, permitam interferências e inferências sobre aspectos mais hipotéticos da natureza. Em outras palavras, considerar que os instrumentos permitem inferências sobre as propriedades dos elétrons seria, nesse caso, incorrer em ordem temporal inadequada, uma vez que construímos aparatos que, baseados em algumas verdades sobre os elétrons, permitem produzir

fenômenos que se desejam investigar (Hacking, 1982)¹³.

Como a maioria das produções relacionadas à filosofia da ciência no período, o texto de Hacking restringe seus exemplos à ciência física. Porém, em artigo publicado em 2007, Hoffman, explicitamente lançando mão do realismo experimental de Hacking, afirma que, ainda que os químicos sejam conscientes do caráter efêmero das teorias, nas bases de sua atividade reside sólido realismo (Hoffman, 2007). Tal realismo seria reforçado a cada sequência de transformações na qual certa substância “A” é transformada na substância “B”, cuja estrutura prevista e propriedades coincidem com dados experimentais (Hoffman, 2007, p.328). Mais uma vez, as entidades, ao atuar como ferramentas e não como hipóteses a serem testadas, atestariam sua realidade.

O papel da experimentação na ratificação da postura realista entre os químicos também foi defendido por Schummer, no texto *Die Rolle des Experiments in der Chemie* (Schummer, 1994) que, apesar de não citar a obra de Hacking, destaca o importante papel da experimentação na construção de conceitos em química e destaca a possibilidade de uma *interpretação experimentalista do realismo associado às entidades*, uma vez que a experimentação liga a ciência à tecnologia. Em 2004, afirmou que “Nas ciências experimentais, experimentos não são ferramentas epistemológicas para testar teorias; as teorias é que são instrumentos que guiam os experimentos” (Schummer, 2004, p. 407). Cabe destacar que, apesar de usar o termo “teoria”, Schummer estava fazendo referência aos processos de síntese e análise, de forma que a realidade das substâncias analisadas e sintetizadas (entidades) é que levaria à escolha de certos procedimentos e previsões (teorias).

De maneira geral, o estatuto ontológico de certas entidades tem servido como base

¹³ Obviamente, a proposta de Hacking foi alvo de críticas, como a desenvolvida por Reiner e Pierson (1995) acerca do tratamento “livre de teorias” ao qual as entidades são submetidas.

para a construção de argumentos em favor da autonomia filosófica da ciência química. Os orbitais têm recebido especial atenção nesse sentido, especialmente fomentada pela divulgação de imagens a eles associadas (Zuo *et al.*, 1999; Itatani *et al.*, 2004).

Merece destaque a defesa de Scerri (2000a e 2000b) pelo equilíbrio entre realismo e reducionismo, uma vez que o realismo ingênuo comumente associado à atividade química pode levar ao distanciamento da compreensão dos modelos enquanto aproximações, chegando a questionar “Podem os orbitais ser reais em química, mas não em física?” (Scerri, 2000a). Alguns anos mais tarde, Lombardi e Labarca (2004, 2005 e 2010) passaram a defender o conceito de *pluralismo ontológico*, como possível resposta ao questionamento de Scerri (2000a), segundo o qual toda teoria aceita possui, através de seu esquema conceitual, uma ontologia própria. Dessa forma, os orbitais poderiam existir na ontologia da química molecular, apesar de não existirem no mundo quântico (Lombardi e Labarca, 2010).

A adequação e suficiência de tais construtos frente ao referencial teórico peirceano adotado pela presente pesquisa serão discutidas posteriormente. Considerando, porém, que tanto a proposta de Scerri (2000a e 2000b) quanto a de Lombardi e Labarca (2004, 2005 e 2010) passam, durante sua defesa, por questões relacionando realismo e educação em química, julgamos importante discutir a questão com um pouco mais de profundidade.

2.2.2. Realismo, reducionismo e educação em química

Retomando mais uma vez o conceito de orbital, Labarca (2006) defende que, por tratar-se de um conceito chave, indispensável para a compreensão das ligações químicas, reatividade e estrutura, a postura realista no que se refere a essas entidades é quase inevitável entre os professores de química. Um paradoxo instala-se, porém, quando a

mecânica quântica é introduzida como teoria explicativa subjacente a esse conceito, ao se considerar que os orbitais resumem-se a funções de onda que não possuem referente no mundo físico. Para o autor,

Parece totalmente claro que essa situação paradoxal tem consequências negativas para uma compreensão profunda da disciplina: os estudantes deparam-se com a alternativa de viver um tipo de “esquizofrenia conceitual” ou aceitar que a química descreve fenômenos meramente aparentes ou “metafóricos” (Labarca, 2006, p. 7).

O pluralismo ontológico, já apresentado anteriormente, bem como o realismo das entidades químicas a ele associado, é colocado como possível solução para esse problema pedagógico. Ainda que não se utilizando da denominação proposta por Labarca e Lombardi, Scerri (2000a, 2000b, 2000c) também defendeu que a adoção ponderada da postura realista pode ser conveniente para a consolidação da autonomia da ciência química. Considerando o ensino dos conceitos de orbital e configuração eletrônica, afirma que

(...) talvez a ênfase no ensino de química de uma maneira quase dedutiva, começando pela configuração dos elementos, preste à química um desserviço por tornar um modelo aproximado mais concreto do que ele merece (Scerri, 2000a, p. 3).

Sua defesa, nesse sentido, vai mais em direção a uma postura intermediária entre realismo e reducionismo (Scerri, 2000b). Apesar de não se tratarem de conceitos opostos, a postura intermediária proposta por Scerri (2000b) insere-se no contexto de que, ainda que os químicos lidem com conceitos originariamente advindos da física, o que poderia sustentar argumentações reducionistas, o fazem de maneira peculiar, ao conferir caráter de realidade a entidades como orbitais, por exemplo, cuja existência material não é admitida pela física quântica.

Outros autores, como Matthews (1994), Pietrocola (1999) e Westphal e Pinheiro (2004), defendem a importância de certo grau de realismo enquanto estratégia adequada ao ensino de ciências, principalmente sob a perspectiva dos prejuízos que posturas idealistas e

suas possíveis consequências relativistas podem trazer a esse processo.

Apesar disso, Scerri (2000a), citando Paneth (1962), lembra que “mesmo que os químicos tenham muito a ganhar ao adotar uma atitude realista ingênua ao recusar-se a seguir as últimas descobertas da física, há um preço a ser pago” (p. 3).

Considerando a educação em química, um grave problema instaura-se quando a postura realista é distorcida em favor das representações (modelos concretos e imagens), em detrimento da realidade ontológica representada (as entidades em si). Como mencionado anteriormente, alguns trabalhos têm sugerido e apresentado exemplos concretos de situações de ensino-aprendizagem nas quais estudantes têm sua capacidade de previsão e explicação de fenômenos prejudicada por aterem-se a representações materiais, em vez construir representações mais gerais que podem ser extrapoladas a situações diversas (Bucat e Mocerino, 2009; Souza e Cardoso, 2007 e 2009).

Os referidos trabalhos dizem respeito à dimensão ontológica do realismo e a seu direcionamento no processo educativo. Cabe destacar que, do ponto de vista epistemológico, o realismo associado à verdade ou falsidade de proposições sobre objetos existentes sofreu duras críticas, especialmente ao longo do século XX, quando a revisão das concepções sobre a natureza da matéria levou à revisão também da natureza do conhecimento científico (Borges, 1996).

Diferentes posturas epistemológicas passaram a ser discutidas, com suas similitudes e pontos de divergência, mas com, pelo menos, um ponto consensual: a contestação do conhecimento seguro e permanente, da existência de uma verdade única atingível. Assim, o século XX é apresentado ao racionalismo crítico de Popper e Lakatos, ao racionalismo dialético de Bachelard, aos paradigmas de Kuhn, ao anarquismo epistemológico de Feyerabend, dentre outras propostas importantes. Tomando Bachelard como exemplo, em

razão das grandes contribuições prestadas à filosofia da química, sua defesa era a de que a filosofia da ciência deveria assumir postura conciliadora entre o formalismo e o convencionalismo idealistas e o realismo, no qual a ciência é entendida como descrição da realidade, de forma que “prova-se o valor real de uma lei empírica fazendo dela a base de um raciocínio. Legitima-se um raciocínio fazendo dela a base de uma experiência” (Bachelard, 1984, p.5).

Do ponto de vista da educação em ciências, o realismo epistemológico tem implicações diretas sobre a interpretação das teorias como *verdades* ou *possibilidades* (modelos) de aproximação à realidade do mundo, conforme já mencionado anteriormente.

Diante do exposto, é inegável que a ciência química vem lidando com questões filosóficas importantes, especialmente no que se refere à definição e caracterização de seus objetos de pesquisa e à forma de construção de seu conhecimento. Essas questões acabam por influenciar tanto sua atividade produtiva quanto a formação de novos profissionais da área, de forma que sua discussão assume significativa importância.

O breve levantamento, apresentado como introdução desse texto, acerca das tentativas de delimitação do campo de atuação do químico, de sua forma de lidar com seu objeto de interesse e de como essas características devem compor os currículos de química, permitem vislumbrar o “dilema” filosófico mencionado. A reconceitualização das tríades apresentadas faz-se urgente não só como contribuição às questões epistemológicas e ontológicas propostas pela filosofia da química, mas como arcabouço teórico para o delineamento de ações concernentes ao ensino dessa ciência. Retomando uma das considerações de Talanquer (2011),

A pesquisa [em ensino de química] nos diz, por exemplo, que estudantes apresentam dificuldades de tradução entre os “níveis de representação” macro e submicro da matéria; isso significa que eles têm problemas na tradução entre experiências e modelos submicroscópicos, entre modelos macroscópicos e modelos submicroscópicos, entre experiências e modelos macroscópicos, entre modelos macroscópicos e visualizações submicroscópicas ou entre tudo isso? (Talanquer, 2011, p. 192).

Partamos, assim, para o atendimento do primeiro objetivo com o qual nos comprometemos: a reconceitualização das tríades anteriormente mencionadas, a partir da filosofia peirceana como fundamentação teórica.

2.2.3 A filosofia de Charles Sanders Peirce – Primeiras considerações e aproximações com a ciência química

Apesar da expressão “primeiras considerações” sugerir posterior aprofundamento, que de fato ocorrerá naturalmente ao longo do trabalho, qualquer tentativa de aproximação parcial da filosofia peirceana implicará em redução quase abismal de sua obra que, apesar de vasta e complexa, mostra-se totalmente interconexa.

Charles Sanders Peirce nasceu em 1839, em uma família de grande importância social, política e intelectual de Cambridge (Massachusetts, EUA). Filho de Benjamin Peirce, um destacado matemático de Harvard de sua época, Peirce cresceu em ambiente frequentado por renomados artistas, políticos e cientistas (Brent, 1998). Tal convivência certamente teve grande influência em sua eclética formação acadêmica, que variou da “matemática à história, da filosofia à química, da literatura à astronomia, da lógica à biologia” (Santaella, 2001).

No entanto, como ainda destaca Santaella (2001), apesar da diversidade de áreas do conhecimento exploradas por Peirce, a Lógica (especialmente a Lógica das ciências) sempre esteve presente como fio condutor das investigações do filósofo. O grande interesse de

Peirce em áreas tão distintas do saber pode mesmo ser entendido se considerarmos a imensa paixão devotada pelo filósofo à Lógica, pois:

(...) entender a Lógica das ciências era, em primeiro lugar, entender seus métodos de raciocínio. Os métodos diferem muito de uma ciência a outra e, de tempos em tempos, dentro de uma mesma ciência. Os pontos em comum entre esses métodos só podem ser estabelecidos, desse modo, por um estudioso que conheça as diferenças, e que as conheça através da prática das diferentes ciências (Santaella, 1983, p. 23).

De fato, o ambicioso projeto intelectual de Peirce era o de criar uma teoria aplicável a todas as coisas, isto é, delinear os princípios fundamentais dos métodos do conhecer. Nas palavras de Peirce, traduzidas de trecho citado por Brent (1998):

[Eu pretendo] construir uma filosofia como a de Aristóteles, ou seja, delinear uma teoria tão compreensível que, por um longo tempo, todo o trabalho da razão humana, na filosofia de qualquer escola ou tipo, na matemática, na psicologia, nas ciências físicas, na história, na sociologia, e em qualquer outra área que puder existir, possa aparecer como o preenchimento de seus detalhes (Peirce, 1887, *apud* Brent, 1998, p. 1).

Desde o início de sua carreira, Peirce mostrava-se contrário à tese cartesiana de que a fonte do método de conhecer está na intuição, capaz de conduzir ao conhecimento certo e seguro. Em artigos publicados em 1868, Peirce apresentou e discutiu quatro incapacidades humanas, que constituem sua base argumentativa de negação à tese cartesiana (Peirce, 1868a e 1868b):

1. Não temos poder de Introspecção. Todo conhecimento do mundo interior é derivado, por raciocínio hipotético, de nosso conhecimento de fatos externos.
2. Não temos poder de Intuição. Toda cognição é determinada logicamente por cognições externas.
3. Não temos poder de pensar sem signos.
4. Não temos concepção do absolutamente incognoscível (Peirce, 1868b, p. 141).

Cabe destacar que Peirce não negou a existência da intuição, mas de sua concepção como origem infalível do conhecimento, uma vez que entendia a cognição como processo

inferencial (Santaella, 2004), sempre mediada. Comentando as duas publicações acima mencionadas, Santaella (2004) destaca uma das conclusões importantes obtidas por Peirce no início de sua carreira, que o acompanharam até o fim de sua vida:

Não há conhecimento sem interpretação, visto que todo conhecimento é condicionado pelos fatores anteriores a ele no processo de cognição e só se revela no momento em que é interpretado num conhecimento subsequente (Santaella, 2004, p. 57).

Tal análise da ciência foi posteriormente considerada por Peirce como sendo de natureza semiótica, a qual é reconhecida quando substituímos a noção de evidência por uma concepção mais ampla de *representação* ou *signo*. Em seu empreendimento, Peirce voltou-se para os fenômenos (*phaneron*), considerando-os como tudo que aparece à mente (um sonho, uma sensação, uma ideia abstrata da ciência, etc.) e, como procedimento, realizou extensa análise de como tais fenômenos se apresentam à experiência, com o objetivo de mapeá-los e caracterizá-los, isto é, de propor categorias universais inerentes a todos eles.

É correto afirmar nesse contexto que, dando suporte às teses anticartesianas, estava a identificação de três elementos constituintes de todo e qualquer fenômeno, os quais foram denominados “categorias do pensamento” e serão brevemente apresentados no tópico seguinte.

2.2.3.1. As categorias do pensamento

Em 1867 Peirce concluiu que tudo que se apresenta à consciência o faz numa gradação de três propriedades: (1) Qualidade; (2) Relação (categoria posteriormente denominada Reação) e (3) Representação (posteriormente denominada Mediação). Buscando livrar suas categorias de possíveis interpretações inadequadas, decorrentes de associações desses nomes a conceitos já existentes, Peirce mais tarde optou por denominá-las *Primeiridade*, *Secundidade* e *Terceiridade*, respectivamente.

Nas palavras de seu idealizador:

Se perguntar a você em que a realidade de um evento consiste, você me dirá que consiste no que está acontecendo *aqui* e *ali*. As especificações *aqui* e *ali* envolvem todas as suas relações com outros existentes. A realidade do evento parece estar em suas relações com um universo de existentes. Um tribunal pode emitir liminares e sentenças contra mim e eu não me importar (...) Mas quando eu sentir a mão do xerife no meu ombro, vou começar a ter um senso de realidade. Realidade é algo brutal. (...) Cito como exemplo o ato de encostar seu ombro em uma porta e tentar forçá-la a abrir contra uma resistência invisível, silenciosa e desconhecida. Nós temos a dupla consciência de esforço e resistência, o que me parece aproximar-se de um sentido puro de realidade. No geral, acredito que nós temos aqui um modo de ser de algo que consiste na forma de ser de um segundo objeto. Eu chamo isso de Secundidade (...) Primeiridade é o modo de ser que consiste no sujeito ser positivamente o que é, independente de qualquer outra coisa. Isso pode ser apenas uma possibilidade. Enquanto as coisas não agem umas sobre as outras não há sentido dizer que elas possuem alguma existência (...) A *vermelhidão*, antes que qualquer coisa no universo fosse vermelha era uma possibilidade qualitativa positiva. E a *vermelhidão* nela mesma, ainda que incorporada, é algo positivo e *sui generis*. Isso é o que chamo de Primeiridade (...) Agora a Terceiridade. Cinco minutos de nossa vida em vigília dificilmente passarão sem que façamos algum tipo de previsão; e na maioria das vezes essas previsões são cumpridas ainda que sejam essencialmente de natureza geral e não possam ser completamente concretizadas. Dizer que uma previsão apresenta tendência natural de ser cumprida significa dizer que eventos futuros são, em certa medida, governados por uma lei (...) Uma regra segundo a qual eventos futuros obedecem a uma tendência é *ipso facto* uma coisa importante, um elemento importante na ocorrência desses eventos. Esse modo de ser que *consiste* (...) no fato de que eventos futuros de Secundidade assumirão determinado caráter geral, eu chamo Terceiridade (CP 1.23-26)¹⁴.

À Primeiridade associa-se, portanto, o ser de possibilidade qualitativa positiva, à Secundidade o ser de fato real e à Terceiridade o ser de lei que governa eventos futuros.

Santaella (2001) lembra que, apesar do esforço empregado na formulação de sua proposta, a redução de todos os fenômenos a três categorias parecia inconcebível, de modo que entre 1867 e 1885 o filósofo percorreu diferentes áreas do conhecimento, submetendo seus fenômenos à análise das instâncias de primeiridade, secundidade e terceiridade. O resultado é que a tríade mostrou-se presente em diferentes áreas como psicologia, fisiologia

¹⁴ A sigla CP refere-se à compilação de obras de Peirce denominada *The Collected Papers*. Os números das citações referem-se, respectivamente, ao volume e parágrafo.

e evolução biológica, observações que culminaram em sua retomada na publicação “Um, dois, três: categorias do pensamento e da natureza” (1885), cujo título evidencia que as categorias ora restritas à dimensão psicológica, foram ampliadas a todos os fenômenos da Natureza, em sua mais ampla forma de compreensão.

Ainda que tais categorias mostrem-se simultâneas e com diferentes graduações na maior parte dos casos, um exemplo apresentado por Moreira (2005) faz-se bastante esclarecedor, ainda que seja necessário chamar a atenção para a complexidade das categorias peirceanas. Trata-se de uma história familiar, que será aqui transcrita para que sejam preservados detalhes importantes à discussão promovida na sequência.

Minha mãe sempre comenta que, além dos balbucios do tipo “mama” e “papa”, as primeiras palavras pronunciadas por João – um de meus irmãos – foram, de fato, uma frase completa de franco estupor. Nos arredores da casa era muito utilizado o transporte por carroças. Passeando com o filho minha mãe apontava-as dizendo expressões tais como: “Olha o cavalo!”, “Que cavalo bonito!”. Então, ao ver pela primeira vez um cavalo livre pastando no campo, ela afirma que o pequeno arregalou os olhos de espanto e exclamou repetidamente: “Cavalo cortado! Cavalo cortado!” (Moreira, 2005, p. 25).

No exemplo acima apresentado, o conjunto carroça + cavalo apresentou-se aos sentidos de João, numa primeira semiose, em sua inteireza, como uma *Primeiridade*. As experiências associadas à expressão “Cavalo!”, repetida pela mãe na presença do conjunto, levaram João a uma situação empírica de *Secundidade* – cuja recorrência levou o menino a seu primeiro conceito de cavalo, ou seja, “à formulação daquele signo que tinha como objeto a totalidade formada por cavalo + carroça” (Moreira, 2005, p. 25), constituindo um momento de *Terceiridade*. A síntese triádica levou, assim, a um signo genuíno, que pode ser resgatado a qualquer momento. Numa segunda semiose, no entanto, uma nova *Primeiridade* (a observação do cavalo sem carroça) levou a conflito (*Secundidade*) que desencadeou a construção de um novo signo (*Terceiridade*), “cavalo cortado”. Certamente,

inúmeras outras semioses foram experimentadas até chegar ao conceito de cavalo que João deve apresentar hoje, na fase adulta. É interessante refletir, porém, que esse ainda deve diferir significativamente do apresentado por um especialista nessa espécie animal.

Além de maior aproximação das ideias de Primeiridade, Secundidade e Terceiridade, o exemplo acima também permite inferir que é no último nível que se dá a “síntese intelectual” ou pensamento em signos, através do qual representamos e interpretamos o mundo (Santaella, 1983).

Considerando, assim, que é no nível da Terceiridade que se dá a formação de conceitos, – “a Terceiridade é operatória na Natureza” (CP 1.93) – voltemos nossa atenção para os processos de representação mediada e algumas de suas possíveis contribuições ao ensino de ciências e de química, em especial.

2.2.3.2. A terceira peirceana e a construção/aprendizagem de conceitos científicos

Antes de discutirmos a Terceiridade como síntese intelectual, é interessante apresentar, ainda que brevemente, a classificação das ciências proposta por Peirce a partir do reconhecimento das três categorias universais. A classificação abaixo, apresentada na forma de um esquema, é fruto do reconhecimento por Peirce, em 1904, de que a diferença entre a matemática, filosofia e ciências especiais (físicas e psíquicas) residia no modo de observação empregado por cada uma delas (Santaella, 2001).

- 1. CIÊNCIAS DA DESCOBERTA
 - 1.1. Matemática
 - 1.2. Filosofia
 - 1.2.1. Fenomenologia
 - 1.2.2. Ciências normativas
 - 1.2.2.1. Estética
 - 1.2.2.2. Ética
 - 1.2.2.3. Lógica ou Semiótica
 - 1.2.3. Metafísica
 - 1.3. Ciências especiais
 - 1.3.1. Físicas
 - 1.3.2. Psíquicas
- 2. CIÊNCIAS DA REVISÃO
- 3. CIÊNCIAS PRÁTICAS

Figura 9. Classificação das ciências proposta por Peirce, com destaque para as ciências da descoberta. Esquema adaptado de Santaella (2001).

A Matemática estuda o que é logicamente possível, sem preocupar-se com sua existência real, enquanto a Filosofia é uma ciência positiva, no sentido de descobrir o realmente verdadeiro, com as limitações do que pode ser inferido da experiência (CP 1.184). Cabe destacar que a Filosofia extrai da Matemática muitos de seus princípios, devido ao maior grau de abstração dessa última, e que fornece princípios às Ciências Especiais ¹⁵ (dentre as quais, após atenta leitura de suas subclassificações, encontramos a Química).

Na busca pela verdade, a Fenomenologia deve fornecer os fundamentos da observação para as demais áreas da Filosofia e das Ciências. As Ciências Normativas, por sua vez, contribuem para a compreensão dos fins, normas e ideais que guiam o sentimento, a conduta e o pensamento humanos:

¹⁵ Para Peirce, o atributo “especiais” deve-se à necessidade de observação diferenciada, seja através de instrumentos ou treinamento (CP 1.242).

[As ciências normativas] não estudam os fenômenos tal como aparecem, pois essa é a função da fenomenologia, mas os estudam na medida em que podemos agir sobre eles e eles sobre nós. Elas estão voltadas, assim, para o modo geral pelo qual o ser humano, se for agir deliberadamente e sob autocontrole, deve responder aos apelos da experiência (...) A lógica como estudo do raciocínio correto é a ciência dos meios para se agir razoavelmente. A ética ajuda a lógica através da análise dos fins aos quais esses meios devem ser dirigidos. Finalmente, a estética guia a ética ao definir qual é a natureza de um fim em si mesmo que seja admirável e desejável em quaisquer circunstâncias independentemente de qualquer outra consideração de qualquer espécie que seja. *A ética e a lógica são, assim, especificações da estética. A ética propõe quais propósitos devemos razoavelmente escolher em várias circunstâncias, enquanto a lógica propõe quais meios estão disponíveis para perseguir esses fins* (Santaella, 2001, p. 36-37, destaque nosso).

As relações estabelecidas entre as Ciências Normativas são inegavelmente identificáveis no processo de construção do conhecimento científico, como esperado, dada sua natureza universal: guiados por ideais pertencentes ao campo da estética, e escolhidos de acordo com determinados compromissos éticos, pesquisadores engajam-se em ações deliberadas orientadas pela lógica. Tais ações advêm da investigação sobre as condições de possibilidade de se pensar a verdade, pois nenhum outro ideal seria mais admirável ao pensamento do que a verdade, que é considerada por Peirce como bem lógico *per se* (HL 212¹⁶). Deve-se destacar, ainda, que no processo de construção das ciências, a comunicação e consequente ampliação do conhecimento é essencial, de modo que também deve ser destacada a dimensão da lógica enquanto associada às “condições necessárias para a transmissão de significado de uma mente a outra e de um estado mental a outro” (Santaella, 2001, p. 39). Nesse contexto, se retomada a terceira incapacidade humana - “não temos o poder de pensar sem signos” - a natureza semiótica da lógica torna-se evidente.

Sendo a atividade do químico uma experiência, a própria ciência química deve se enquadrar nas categorias universais, de forma que se torna razoável discutir não só sua

¹⁶ A sigla HL refere-se à obra *Pragmatism as a Principle and Method of Right Reasoning: The 1903 Harvard “Lectures on Pragmatism”*. O número ao lado da sigla refere-se à página.

fenomenologia, mas os signos que participam de seus processos criativos e comunicativos. Isso posto, passemos a breve discussão das questões da mediação sgnica, que compem a **teoria dos signos** de Peirce.

2.2.3.3. A teoria dos signos de Charles Sanders Peirce

Para Peirce, o processo de construo de significados envolve sempre uma trade composta pelo *signo*, que, ao representar determinado *objeto*, gera um *interpretante* naquele com quem se relaciona. Tal relao pode ser mais bem compreendida nas palavras de seu criador:

Um signo “representa” algo *para* a ideia que provoca ou modifica. Ou assim – um veculo que comunica mente algo do exterior. O “representado” o seu objeto; o comunicado, a significao; a ideia que provoca, o seu interpretante¹⁷. O objeto da representao uma representao que a representao interpreta. Pode conceber-se que uma srie sem fim de representaes, cada uma delas representando a anterior, encontre um objeto absoluto como limite. A significao de uma representao outra representao. Consiste, de fato, na representao despida de roupagens irrelevantes; mas nunca se conseguir despi-la por completo; muda-se apenas para roupa mais difana (Peirce, 1974, p. 99).

Um primeiro ponto que merece ser destacado reside nas ideias de significao e interpretante. Para Peirce, “s percebemos aquilo que estamos equipados para interpretar” (Santaella, 2000, p. 52), de forma que:

Para ler o signo, e distinguir um signo de outro, o que se faz necessrio so percepes sutis e familiares com os concomitantes habituais de tais aparncias, e com as convenes do sistema de signos. Para conhecer o objeto, o que preciso a experincia prvia desse Objeto Individual” (Peirce, 1974, p. 139).

¹⁷ Ao usar o termo interpretante, Peirce no se refere ao intrprete do signo, mas a um processo relacional que se cria na mente do intrprete.

Difícilmente podemos resistir ao estabelecimento de paralelos entre tais assertivas de Peirce, provavelmente elaboradas entre 1903 e 1904, e a teoria da assimilação da aprendizagem e retenção significativas de Ausubel, formalmente apresentadas no início dos anos 1960. Para Ausubel, o que gera significados verdadeiros (psicológicos) é a interação que novos conhecimentos estabelecem com ideias relevantes, previamente existentes na estrutura cognitiva do aprendiz (Ausubel, 2000). Em outras palavras, novos conceitos, ideias ou proposições podem ser aprendidos de forma significativa na medida em que outras ideias, conceitos ou proposições estejam claros e disponíveis na estrutura cognitiva do aprendiz, e funcionem como pontos de “ancoragem” (Moreira, 1997).

Ainda que Ausubel buscasse uma teoria de aprendizagem significativa, em oposição a uma aprendizagem verbal por memorização, e Peirce buscasse os princípios fundamentais de todo e qualquer conhecimento – o que inevitavelmente levaria a teorias essencialmente diferentes – a influência das estruturas prévias de conhecimento na interpretação de novas situações, ou novos conhecimentos vivenciados, parece ser determinante para ambos os autores. Retomando a citação de Santaella (2000), mas agora de forma mais completa:

(...) o *percipuum*¹⁸ força-se sobre nós e está localizado abaixo do nível de nossa deliberação e autocontrole, aflui em nós e flui continuamente dentro de nós. Tão logo aflui, no entanto, é imediatamente colhido e absorvido nas malhas dos esquemas interpretativos com que somos dotados: os julgamentos de percepção. Daí Peirce dizer que só percebemos aquilo que estamos equipados para interpretar (Santaella, 2000, p. 52).

Ainda considerando a teoria Ausubeliana de aprendizagem, a nova informação deve relacionar-se à estrutura cognitiva do aprendiz de maneira substantiva e não arbitrária. A não arbitrariedade está relacionada aos conceitos subsunçores já mencionados. Já a substantividade pressupõe que o que deve ser incorporado à estrutura cognitiva é a

¹⁸ Objeto imediato da percepção ou percepto, tal como aparece àquele que percebe (Santaella, 2000).

substância do novo conhecimento e não as *palavras* usadas para expressá-lo. Considerando que o mesmo conhecimento pode ser expresso de diferentes maneiras através de signos ou grupo de signos, a aprendizagem significativa não pode depender do uso *exclusivo* de signos particulares (Moreira, 1997).

Ainda que a interpretação de *signo* para Ausubel precise ser mais bem investigada, e que não corresponda diretamente à compreensão peirceana¹⁹, podemos ampliar a noção de substantividade ausubeliana a partir de dois pontos da semiótica de Peirce: a incompletude e a consequente mútua complementaridade dos signos.

Considerando a incompletude, Peirce propõe que a ligação do signo ao objeto se dá sob algum aspecto e não sob a totalidade do objeto, pois, em caso contrário, o signo seria o próprio objeto. Daí sua insuficiência e impotência.

A equação $\text{CH}_4 (\text{g}) + 2 \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2 (\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O} (\text{g})$, de natureza majoritariamente simbólica, não dá conta de todos os aspectos relacionados à combustão do metano, e menos ainda se considerarmos o processo de combustão de maneira mais geral. Assim, não são contemplados por essa representação simbólica, por exemplo, os aspectos macroscópicos e as modificações estruturais (em nível atômico-molecular) nem os aspectos ambientais e econômicos associados a essa transformação. Ao ser apresentada a um intérprete em potencial (nossos estudantes de Química, por exemplo), a ação da equação enquanto signo é a de se desenvolver em um interpretante²⁰ onde busca se completar, ou seja, sua tendência

¹⁹ De fato, em diversas passagens de sua obra, Ausubel emprega a denominação *signo* como sinônimo de *símbolo*. Para Peirce, os signos podem ser classificados como *ícones* (quando a relação com seu objeto está numa mera comunidade de alguma qualidade), *índices* (quando a relação com seu objeto consiste numa correspondência de fato ou relação existencial) ou *símbolos* (quando a relação com seu objeto depende de um caráter imputado, convencional ou de lei).

²⁰ É importante reiterar, nesse momento, a dependência entre o interpretante e as experiências prévias do intérprete. Considerando o exemplo mencionado, a compreensão dos aspectos simbólicos ou dos outros aspectos relacionados à combustão poderá ocorrer de diferentes maneiras pelos estudantes, em função das diferentes concepções prévias por eles apresentadas.

é crescer, desenvolvendo-se num outro signo, para o qual é transferido o facho da representação (Peirce, 1974).

Ainda que configure tema a ser tratado posteriormente, o aspecto ativo e de crescimento dos signos foi observado durante a análise de livros didáticos de Química Geral (Souza e Porto, 2010). Situações ou fenômenos que eram representados unicamente segundo seus aspectos macroscópicos (de caráter mais indicial, na interpretação peirceana) no início do século passado, passam a ser representados segundo aspectos cada vez mais complexos e abstratos. Tais abordagens chegam a aparecer, inclusive, de forma simultânea. A *Figura 10* ilustra tal observação.

Figura 10. Representações para as relações pressão – temperatura – volume para gases. (a) Relação entre a pressão de um gás, seu volume e sua temperatura (Bavink, 1928); (b) Lei de Boyle-Mariotte (Puig, 1936); (c) Explicação da lei de Boyle pela teoria cinética (Sienko e Plane, 1968). Ao representar as relações entre pressão e volume, os autores do início do século não se comprometiam com a representação do fenômeno em nível teórico-conceitual.

Outro exemplo bastante pertinente e interessante pode ser extraído do trabalho de Vollmer (2006), que discute a questão das representações espaciais na Química:

A representação das relações espaciais entre átomos pela demonstração de sua geometria foi introduzida sistematicamente nas representações químicas por Dalton quando ele representou as relações espaciais entre átomos em moléculas através de círculos que os representavam (...) Nesse sistema, os átomos e suas representações compartilhavam a geometria em duas dimensões. Quando especulações sobre a forma tridimensional das moléculas tornou-se comum, era necessário um método para representá-la. Sistemas nos quais os diagramas continuavam a compartilhar com os átomos uma geometria em duas dimensões, e que também representavam a terceira dimensão, foram introduzidos nas representações químicas, como os diagramas de van't Hoff das geometrias de centros carbônicos utilizando projeções de um tetraedro (Vollmer, 2006, p. 306).

O entendimento do caráter ativo dos signos constitui, nesse contexto, importante contribuição às discussões sobre epistemologia da ciência, uma vez que acaba por contrariar a possibilidade de existência de *uma única* “verdade científica”, ao passo que

O longo curso do tempo sempre demonstrará que aquilo que foi tomado como completo não passava de apenas um dos aspectos parciais do objeto, visto que este, na sua inteireza ou totalidade, não pode ser capturado nas malhas dos signos. Por mais que a cadeia sónica cresça, o objeto é aquilo que nela sempre volta a insistir porque resiste na sua diversidade (Santaella, 2000, p. 31).

Nesse contexto, a ideia de que os signos são mutuamente complementares dispensa maiores explicações. Uma vez que não há um limite *a priori* para o número de signos associados a um objeto, ou para o potencial de sua interpretabilidade, não existe signo autossuficiente.

Tal insuficiência é bem exemplificada por Peirce (1975), ao discutir as possibilidades de significado da palavra “cabo”:

A palavra Signo será usada para denotar um Objeto perceptível, apenas imaginável ou mesmo insuscetível de ser imaginado em um determinado sentido – a palavra “cabo”, que é um Signo, não é imaginável, pois não é *essa palavra mesma* que pode ser inscrita no papel ou pronunciada, mas apenas um dos aspectos que pode revestir; trata-se da mesmíssima palavra quando escrita e quando pronunciada, mas é uma palavra quando significa “posto de hierarquia militar”, outra quando significa “ponta de terra que entra pelo mar” e terceira quando se refere a “parte por onde se segura objeto ou instrumento” (Peirce, 1975, p. 95).

É possível propor aproximações, que ainda requerem análises mais profundas, entre tal discussão e a noção de perfil conceitual proposto por Mortimer (1995), segundo a qual um único conceito pode estar disperso entre vários tipos de pensamento filosófico e apresentar diversas características ontológicas, de forma que variadas formas de compreensão da realidade podem coabitar a estrutura cognitiva de um indivíduo, as quais podem ser usadas em seus contextos apropriados.

Tais considerações, especialmente a possibilidade de existência de inúmeros signos associados a um objeto, assumem especial importância quando aplicadas a um campo do conhecimento que trabalha essencialmente com representações, como é o caso da ciência química.

Deve-se considerar, ainda, a dimensão educacional dessa característica, uma vez que a necessidade de constante manipulação de fenômenos, símbolos e modelos faz com que a habilidade de manejo e compreensão de diferentes sistemas sóicos seja ponto crucial não só no processo de construção do conhecimento químico, mas também no seu ensino e aprendizagem. Concordando com Hoffmann (2007), “O processo representacional na química é um código compartilhado dessa subcultura” (Hoffmann, 2007, p. 99). Sobre as implicações de tal característica da ciência química em seu processo de ensino e aprendizagem, Johnstone afirma que

[o entendimento do nível submicroscópico] é a força de nossa disciplina como atividade intelectual, e sua fraqueza quando tentamos ensiná-la, ou o mais importante, quando os estudantes tentam aprendê-la (Johnstone, 2000, p. 11).

De fato, já foram mencionadas pesquisas que vêm demonstrando a dificuldade de construção de *modelos* associados a diferentes conceitos químicos, ou seja, a dificuldade de extrapolação, aplicação de conceitos e proposição de explicações a diferentes situações propostas. Podem ser destacadas, como exemplos, as dificuldades apresentadas por estudantes de diferentes níveis de ensino na discussão de conceitos como dissolução (Souza e Cardoso, 2007; Souza e Cardoso, 2009) e equilíbrio químico (Souza e Cardoso, 2008).

A semiótica de Peirce também parece contribuir para a interpretação e discussão de possíveis soluções ao problema apresentado.

Góis e Giordan (2007) apresentam contribuição nesse sentido, ao discutir os processos de significação de representações químicas em sala de aula, destacando,

especialmente, suas dimensões indiciais, icônicas e simbólicas. Para melhor compreender a ideia defendida pelos autores, passemos a breve consideração acerca das tricotomias peirceanas.

Para Peirce os signos podem ser analisados segundo três tricotomias: o signo em si mesmo (seu fundamento), o signo em sua relação com o objeto, e o signo em sua relação com o interpretante gerado. Buscando evitar extensão inconveniente no tema, passemos ao conhecimento apenas das duas primeiras tricotomias, cujas contribuições apresentam maior relevância para esta pesquisa.

De acordo com a primeira classificação, um signo pode ser um *quali-signo*, quando for mera qualidade, um *sin-signo*, quando for um existente concreto, e um *legi-signo* quando tratar de lei geral, convencionada pelos intérpretes do signo (Peirce, 1975).

Considerando a relação do signo com seu objeto, três categorias emergem:

Um Ícone é um signo que se refere ao Objeto que denota simplesmente por força de caracteres próprios e que ele possuiria, da mesma forma, existisse ou não existisse efetivamente um Objeto daquele tipo (...) Um Indicador [*ou Índice*] é um signo que se refere ao Objeto que denota em razão de ver-se realmente afetado por aquele Objeto (...) Um Símbolo é um signo que se refere ao Objeto que denota por força de uma lei, geralmente uma associação de ideias gerais que opera no sentido de levar o Símbolo a ser interpretado como referindo àquele Objeto (Peirce, 1975, p. 102).

Para Santaella (2008), uma vez que o ícone representa seu objeto por apresentar qualidades em comum com ele (fundamento = *quali-signo*), a única capacidade referencial que o ícone pode ter é a de apresentar algum grau de semelhança com o objeto. Isso torna o poder de referencialidade dos ícones mais aberto, de forma que esse tipo de signo apresenta alto poder de sugestão. Já a análise de um índice é mais direta e com baixa ambiguidade, uma vez que a referencialidade desse signo é fátual (vestígios, marcas) e indica seu objeto. Finalmente, os signos são quase sempre convenções culturais, cuja

referencialidade inclui costumes, valores, padrões, etc., de forma que esse tipo de signo representa seu objeto.

É importante destacar que nenhum signo mantém apenas um tipo de relação com seu objeto, de forma que todo signo possui níveis de iconicidade, indexicalidade e simbolicidade. O que pode ser observado é algum grau de predominância entre uma ou outra dimensão.

Retomando a já mencionada publicação de Góis e Giordan (2007), os autores focam seu interesse na ideia do **signo**. Nessa empreitada, atribuem prevalência de determinadas qualidades semióticas de significação em cada *dimensão* (denominação empregada pelos próprios autores)²¹ do conhecimento químico. Assim,

No nível macroscópico do conhecimento químico, prevalecem as relações indiciais e simbólicas. No nível submicroscópico, são encontradas predominantemente as relações icônicas e simbólicas de significação. No nível simbólico do conhecimento químico, no entanto, são encontradas todas as qualidades de significação semiótica, ou seja, indiciais, icônicas e simbólicas (Góis e Giordan, 2007, p. 42).

Além de propor, na presente pesquisa, interpretação alternativa às relações semióticas propostas por Góis e Giordan (2007), acreditamos que a aplicação mais ampla dos conceitos propostos por Peirce, não apenas no que se refere à Teoria dos Signos, mas também à Fenomenologia, pode nos auxiliar na reflexão filosófica acerca da forma de construção do conhecimento químico. É nessa perspectiva que propomos um referencial peirceano de análise epistemológica da ciência química.

²¹ Note-se que “dimensão” surge como mais uma denominação para a tríade proposta por Johnstone.

2.3. Construindo um referencial teórico

2.3.1. A produção do conhecimento químico

Retomemos as tríades apresentadas no início desse texto sob a perspectiva da fenomenologia e teoria dos signos peirceana.

Independente da proposta, três elementos mostram-se presentes de maneira recorrente: o químico *observa e descreve* fenômenos naturais ou por ele construídos, *elabora sínteses* (princípios, leis) e *explicações* (teorias) para o que observou e, nesse processo, *propõe representações* que constituem sua linguagem.

Ao discutir a forma através da qual o químico elabora sínteses e explicações a partir da observação dos fenômenos, Bachelard (2009) afirma que, se considerada a química do século XVIII e seus esforços classificatórios, perceber-se-á que a classificação das espécies químicas não é tão imediata quanto se possa imaginar, uma vez que “O geral, em química, é afetado por um relativismo evidente de qualidade, já que as qualidades químicas de um corpo particular acionam naturalmente os outros corpos da química” (Bachelard, 2009, p. 21). Ainda sobre essa questão, o autor lança alguns questionamentos:

Estamos assim diante de uma questão cuja importância filosófica é evidente: como o conhecimento de uma substância particular pode ser aprimorado, precisado, multiplicado pelo conhecimento de uma substância diferente, ou mais ainda pelo conhecimento extensivo do conjunto das substâncias? Como explicar que o profundo conhecimento de um corpo particular se revele menos decisivo para nos fazer entender o feixe de suas qualidades próprias do que o estudo comparativo conduzido num corpo nitidamente diferente? (Bachelard, 2009, p. 24).

A esses questionamentos, Bachelard propõe como resposta que “Objetivamente falando, todas as propriedades químicas são relativas” (Bachelard, 2009, p. 25), o que daria forma a um pluralismo totalmente novo para a filosofia, o qual nomeia a obra a que fazemos referência, *O pluralismo coerente da química moderna*. Vale destacar que tal relativismo é

também estendido pelo autor à fase instrumental do desenvolvimento da ciência química, como explicitado no capítulo *Da localização à medida* (Bachelard, 2009, p. 177-192), que trata da análise espectral.

As considerações apresentadas assumem importância no contexto dessa pesquisa, pois acabam por enfatizar que o acesso do químico ao fenômeno estudado, acesso esse de **caráter interacional**, é sempre **mediado** e, nesse sentido, **limitado** pelo relativismo imposto por sua própria natureza. O caráter semiótico de tal relação é manifesto, uma vez que as evidências sensoriais, viabilizadas por instrumentos ou não, atuam como **signos** que evidenciam aspectos específicos e restritos dos **objetos** a que se referem.

Figura 11. Relação signo-objeto na construção do conhecimento químico.

Peirce propõe a existência de dois tipos de objeto: o objeto tal como o signo permite que o conheçamos, denominado *Objeto Imediato*, e o objeto de fato, real, chamado *Objeto Dinâmico*. Tal distinção ocorre ao pressupormos que o signo é capaz de captar apenas aspectos parciais do objeto e não sua totalidade (caso contrário, o signo seria o próprio objeto) e implica, como já mencionado anteriormente, que um objeto pode ser denotado por mais de um signo, assim como um signo pode possuir mais de um objeto. Nas palavras de Peirce:

Os objetos – pois um Signo pode ter qualquer número deles – podem ser uma coisa singular existente e conhecida ou coisa que se acredita ter anteriormente existido ou coisa que se espera venha a existir ou uma coleção dessas coisas [...] (CP 2.232).

Apesar de Peirce, em algumas passagens, definir o Objeto Dinâmico como Objeto Real, Santaella (2000) destaca que a opção pela denominação “dinâmico” deve-se ao fato de que tal objeto pode ser fictício – o objeto não passa a existir em razão do signo – de forma que o Objeto Dinâmico deve ser entendido como a referência última, inatingível²².

O fenômeno – signo dispõe do poder de gerar na mente interpretativa uma ideia, que atuará ela mesma como signo na continuidade do processo de interpretação, o **interpretante**. Santaella (2000) destaca que “Ele não é ainda o produto de uma pluralidade de atos interpretativos [...] mas sim um conteúdo objetivo do próprio signo” (p. 63).

Nesse caminho de conversão a outro signo, o interpretante passa por três estágios, inequivocamente relacionados às três categorias fenomenológicas (SS, p. 110-111²³):

1. **Interpretante imediato** – O efeito que se espera que um signo produza (primeiridade);
2. **Interpretante dinâmico** – O efeito realmente produzido por um signo sobre uma mente individual ou sobre um conjunto de mentes individuais (secundidade);
3. **Interpretante final** – Resultado interpretativo ao qual todo intérprete chegaria se o signo fosse suficientemente considerado (terceiridade); limite ideal, mas inatingível para o qual os interpretantes dinâmicos tendem (Santaella, 2000).

²² Ainda que possam ser encontradas diferentes leituras acerca da compreensão peirceana de realidade (para mais ver Michael, 1988), o significado atribuído ao Objeto Dinâmico evidencia a verdade como esperança. Tal concepção é explícita no trecho: “Não podemos ter certeza de que a comunidade chegará a inalterável conclusão sobre qualquer questão dada. Mesmo se o fizer, não temos razão para pensar que a unanimidade será completa, nem podemos racionalmente presumir que qualquer consenso esmagador será alcançado. Tudo o que podemos supor está na forma de uma *esperança* de que tal conclusão sobre as questões particulares com as quais nossa investigação se ocupou pode ser substancialmente alcançada” (CP 6.610).

²³ A sigla SS refere-se à obra *Semiotics and signification: the correspondence between C. S. Peirce and Victoria Lady Welby*.

Nesse contexto, Santaella (2000) destaca que os interpretantes imediato e final são abstratos e contrastam com o caráter concreto do interpretante dinâmico. Mais que isso, a pesquisadora evidencia o caráter social e coletivo do interpretante em seu sentido geral:

(...) todos os fatos empíricos de decifração de um signo são interpretantes dinâmicos. O interpretante final é aquilo para cuja direção o real tende. Sendo um limite ideal e abstrato, o interpretante final não depende estritamente de cada interpretante dinâmico efetivo (...) Uma interpretação particular, psicológica (interpretante dinâmico) é sempre uma atualização necessária, mas relativa e, portanto, sujeita à correção e à crítica. Esta correção só é possível devido à relação dialética entre o interpretante imediato (potencial inscrito no signo) e o interpretante final, limite ideal para o qual, a partir desse potencial, as atualizações singulares tendem a se dirigir (Santaella, 2000, p. 76).

Em 1907, Peirce propõe uma segunda tricotomia do interpretante que, segundo interpretação proposta por Johansen (1985), com a qual concordamos, pode ser entendida como subdivisão do interpretante dinâmico:

- 2.1. Interpretante emocional** – qualidade de sentimento intraduzível provocado pelo signo;
- 2.2. Interpretante energético** – ato no qual energia (física ou mental) é mobilizada;
- 2.3. Interpretante lógico** – entendimento geral produzido pelo signo, concebido como *hábito de ação*.

Acerca do interpretante lógico, essencial para a proposta aqui delineada, cabe o esclarecimento feito por Santaella (2000):

Um interpretante lógico é uma regra geral que não se confunde com um conjunto de palavras, mas é mais propriamente um hábito de ação que pode ser expresso em palavras. Um hábito quer dizer que “se certas ações são realizadas sobre objetos que respondem a uma certa descrição, resultados de uma espécie geral serão observáveis. Os atos que a regra prescreve podem ser musculares e físicos, ou eles podem ser atos imaginativos experimentados sobre imagens e diagramas mentais” (Savan, 1976 [*apud* Santaella, 2000]). Nos dois casos, trata-se de atos de natureza voluntária que são efeitos semióticos da regra e sobre ela reagindo a ponto de modificá-la para torná-la mais confiável, produzindo resultados preditivos (Santaella, 2000, p. 79).

A aproximação entre as fases do interpretante dinâmico com o processo de construção do conhecimento científico, e mais especificamente do conhecimento químico, é quase irresistível. Tomando a **interação** como qualquer forma de aproximação do fenômeno, incluindo experiências sensoriais, medidas instrumentais, etc., ela sempre será capaz de desencadear no intérprete (no caso, o químico) a sequência acima proposta, de forma que impressões e percepções de natureza sensorial/emocional ²⁴ demandarão esforços no sentido de descrição e categorização que poderão, finalmente, levar a hábitos de ação que poderíamos associar aqui à proposta de uma lei, princípio ou teoria. Trata-se de um “novo estado de prontidão para a ação e para a ação do pensamento” (Santaella, 2000, p. 85).

Considerando a natureza coletiva do interpretante, tal hábito de ação está sujeito a revisões e autocorreção, aspirando ao interpretante final, inatingível quando entendido como aquilo para o que o real tende. É sob essa perspectiva que construtos científicos - interpretantes lógicos - tendem a incorporar cada vez mais elementos do mundo (objeto) que se propõem a descrever e explicar. A *Figura 12* completa a tríade proposta:

Figura 12. Abordagem fenomenológica e semiótica para a produção de construtos científicos.

²⁴ É importante destacar a dificuldade, presente mesmo entre os comentadores mais experientes de Peirce, em diferenciar os interpretantes emocional e energético, dado que o próprio sentimento gerado pelo contato com um signo já está carregado de secundidade.

A linha tracejada conectando evidências e construtos científicos representa os variados interpretantes que intermedeiam a obtenção do interpretante lógico que será temporariamente aceito pela comunidade científica. Assim, entendemos que a proposição de um construto científico passa por inúmeros momentos de primeiridade, secundidade e terceiridade. Estes levarão a diferentes interpretantes dinâmicos (emocionais, energéticos e lógicos), cuja síntese intelectual gerará o consenso acerca de determinado interpretante lógico que se acredita aproximar mais do interpretante final. Tal sequência parece descrever de forma bastante adequada o processo segundo o qual a comunidade científica acredita captar cada vez mais aspectos da realidade externa.

Apesar de inserido em contexto de semiose de processos biológicos, esquema proposto por Queiroz e El-Hani (2008) mostra-se bastante adequado na ilustração desse processo:

Figura 13. Conversão dos interpretantes em signos de novas semioses. Adaptado de Queiroz e El-Hani (2008).

A figura representa cadeia triádica formada por sequência de relações estabelecidas entre signos (S), objetos (O) e interpretantes (I). A faixa retangular que compreende os objetos indica que se tratam de diferentes objetos imediatos associados a um mesmo objeto dinâmico, do qual é possível aproximar-se cada vez mais através do surgimento de novos interpretantes, que se convertem em signos das próximas semioses. Quando isso acontece, a relação de referência ao objeto dinâmico depende do fato de o novo ocupante da função

de objeto imediato apoiar-se sobre os mesmos aspectos do objeto dinâmico que o objeto imediato da semiose anterior, ampliando-os. A incorporação de novos elementos aos objetos imediatos é representada pelas setas retilíneas.

A referida sequência semiótica criada na busca pela aproximação do objeto dinâmico e a consequente multiplicação dos signos a ela associada podem ser entendidas como características de qualquer área do conhecimento científico. Defendemos que a química, porém, possui especificidade marcante: *a criação de **novos** objetos dinâmicos*.

Não se trata aqui de entidades propostas a título explicativo ou preditivo que, cabe reiterar, acabam muitas vezes por assumir o status de “real” entre os químicos. Trata-se, porém, da criação de novas realidades sensíveis, associadas à síntese de novas substâncias e materiais e às novas propriedades a eles associadas.

A *Figura 14* representa possível interpretação semiótica da síntese de derivados sintéticos do ácido retinóico (tretinoína), substância tomada aqui como exemplo ²⁵. A interação entre a radiação infravermelha e as partículas componentes de um sólido cristalino amarelo (existente) produz um índice (espectro) de sua estrutura, capaz de gerar, após inúmeros interpretantes, um interpretante lógico compreendido pela comunidade química como a fórmula estrutural da tretinoína. Esse mesmo interpretante converte-se em signo de uma nova semiose na qual ele pode ser interpretado como representante de uma classe mais geral de derivados da vitamina A (retinol). A criação de diferentes interpretantes é guiada pelos conhecimentos prévios do intérprete e pode levar a uma estrutura hipotética (no exemplo dado, um isômero geométrico da tretinoína). Configura-se, assim, a criação de novo objeto dinâmico, entendido como “coisa que se acredita ter anteriormente existido ou coisa que se espera venha a existir ou uma coleção dessas coisas [...]” (CP 2.232).

²⁵ Os espectros, fórmulas estruturais e rota de síntese empregados na construção da figura foram extraídos de Garbes *et al.* (1968) e Maio *et al.* (2003).

A partir da síntese química criam-se, assim, novas substâncias, dotadas de novas qualidades, ou seja, cria-se nova realidade.

Figura 14. Possível sequência semiótica para a síntese de derivados sintéticos da tretinoína. Imagens extraídas de Garbes et al. (1968) e Maio et al. (2003).

Elaborados os construtos que constituirão o *corpus* do conhecimento químico, segue-se sua comunicação, tanto à comunidade de pesquisadores, já iniciada nos processos teóricos e linguísticos, quanto à comunidade de estudantes que objetivam compreender tais processos.

2.3.2. A comunicação do conhecimento químico – Abordagem fenomenológica e semiótica da educação em química

Quando o foco é direcionado à comunicação do conhecimento químico, processo que toma lugar especial nas salas de aula de ciências, nova semiose é estabelecida. Nela, construtos científicos assumem o papel de objetos cujo acesso se dá, por exemplo, através da fala e gestos do professor, de textos e imagens presentes em livros e de modelos moleculares concretos. Tais estratégias de comunicação assumem o papel de signos e gerarão interpretantes na mente dos estudantes.

Para além de uma visão conteudista do ensino de química, é necessário destacar que não somente os construtos teóricos e linguísticos fazem parte desse processo, mas também os componentes históricos, sociais e atitudinais que constituem o conhecimento químico. Esse é o mote do letramento científico como prática social, segundo o qual “o letramento dos cidadãos vai desde o [...]entendimento de princípios básicos de fenômenos do cotidiano até a capacidade de tomada de decisões em questões relativas à ciência e tecnologia” (Santos, 2007, p. p. 480). Tal perspectiva ampliada para a educação em ciências originou-se ainda na década de 1970, motivada essencialmente por questões ambientais, e vem sendo ampliada progressivamente, constituindo tema significativamente presente na literatura voltada à educação em ciências.

No caso específico da ciência química, a discussão acerca da inclusão da perspectiva ética e sociocultural em seu ensino ganhou, inclusive, denominações específicas, como

chemical literacy, ou “letramento em química”, que tem em Schwartz um de seus principais proponentes (Shwartz *et al.* 2005, 2006) e *Bildung-oriented chemistry education* (cuja tradução bastante aproximada poderia ser “educação química orientada para a cidadania”, dado que o termo alemão *Bildung* não possui tradução direta e sucinta para português), proposta por Sjöström (2011). Ambas as propostas têm, como característica comum, o objetivo de formar cidadãos críticos e aptos para a ação em diferentes questões relacionadas à ciência e tecnologia que permeiam nossa sociedade.

É de extrema relevância para a presente pesquisa destacar que a proposta de Sjöström (2011) apresenta-se como ampliação do tetraedro de Mahaffy (2004), que adiciona o “elemento humano” ao triângulo proposto por Johnstone. Mahaffy (2004) defende a existência de um quarto vértice (ver *Figura 15*), objetivando enfatizar a existência de processos econômicos, políticos, ambientais, sociais, históricos e filosóficos relacionados à construção do conhecimento químico e de seu ensino, além de destacar o aspecto humano do próprio aprendiz, o que levaria a maior presença de estratégias metodológicas como estudos de caso e projetos investigativos (Mahaffy, 2004 e 2006).

Figura 15. “Tetraedro da educação química: nova ênfase no aspecto humano” (tradução da legenda original). Extraída de Mahaffy (2004, p. 231).

A importância da proposta de Mahaffy para a presente pesquisa relaciona-se à reiteração da pouca clareza associada à compreensão dos “níveis” utilizados na descrição de aspectos da educação em química. No tetraedro proposto, aspectos considerados, pela

maioria dos autores apresentados nesse texto, como sendo de **representação** do conhecimento químico, são equiparados a uma instância de caráter **epistemológico**, em seu fundamento, e **metodológico**, no que se refere a sua efetiva materialização em sala de aula. Obviamente, tratam-se de dimensões, ainda que importantes para o processo de ensino e aprendizagem em química, totalmente distintas.

Diante do exposto, a *Figura 16* apresenta proposta de análise semiótica para o processo de comunicação do conhecimento químico, sob a perspectiva do letramento científico. Entendemos que os construtos científicos configuram objetos da comunicação nas salas de aula de química, mas assim também deve ser compreendido todo o processo de construção do conhecimento químico.

Figura 16. Comunicação do conhecimento químico nos ambientes de ensino e aprendizagem.

Para isso, é necessário que seja evidenciado o caráter mediado e, por esse motivo, não definitivo, da elaboração de teorias, o papel da experimentação nesse processo e os recursos linguísticos que buscam representar os construtos científicos elaborados. A busca permanente pela ampliação dos modelos teóricos propostos, bem como a possibilidade de

criação de “novas realidades”, também devem ser destacadas, consistindo aspecto importante do que foi considerado como **objeto** da educação em química.

O referido objeto possui diferentes aspectos cuja comunicação depende de diferentes estratégias (**signos**), uma vez que não podem ser diretamente acessados em sua totalidade. Por estratégias de comunicação entendemos tudo que se apresenta ao intérprete (nosso estudante de química) com a intenção de aproximá-lo do objeto a ser comunicado. O comportamento gestual e verbal do professor, a realização de experimentos, a apresentação de gráficos, a utilização de modelos moleculares, a discussão de situações de aplicação do conhecimento químico e a inclusão de imagens em livros didáticos, por exemplo, tratam de estratégias de comunicação que visam captar diferentes aspectos de um mesmo objeto. Entendemos, assim, que os níveis macroscópico, sub-microscópico e simbólico, bem como o aspecto humano remetem, na verdade, a estratégias de comunicação do conhecimento químico, cuja presença e intercâmbio devem ser garantidos pelo professor, de forma a possibilitar o contato dos estudantes com a maior variabilidade de aspectos possível de seu objeto, o conhecimento químico em si.

O contato com as diferentes estratégias de comunicação (signos) levará à construção de diferentes concepções, **interpretantes**, ponto em que a teoria semiótica mostra ser totalmente coerente com teorias mais modernas relacionadas à aprendizagem de conceitos científicos. Sua aproximação com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, por exemplo, já foi mencionada anteriormente e está fortemente relacionada à importância do conhecimento das concepções prévias dos estudantes, uma vez que “só percebemos aquilo que estamos equipados para interpretar” (Santaella, 2000, p. 52).

A importância da variação das estratégias de comunicação e dos instrumentos de avaliação também ganha novos argumentos com a proposta semiótica, uma vez que

[...] em determinadas situações, mesmo sendo triádico, o signo pode ter seu processo interpretativo interrompido em qualquer um dos momentos de geração do interpretante, visto que este momento pode ser suficiente para a função que o signo cumpre naquela situação (Santella, 2000, p. 87).

Em outras palavras, é possível que a sequência de construção dos interpretantes não chegue a gerar interpretantes lógicos. A simples memorização e aplicação de uma fórmula, sem o claro entendimento acerca de seu significado, está mais associada ao interpretante energético, dado que requer certo esforço mental (e até mesmo físico!), mas sem implicar na construção de um conceito geral. O mesmo pode ser depreendido do caso discutido na *Figura 6*. Na referida situação, observou-se a capacidade de reprodução de situações específicas (dissolução do NaCl e do HCl), provavelmente memorizada (interpretante energético), mas não foi observado domínio dos processo de dissolução em geral, que incluem conhecimento sobre os conceitos de polaridade, interação soluto-solvente, entre outros, cuja utilização caracterizaria a existência de um interpretante lógico.

Cabe acrescentar que também existe a possibilidade de o estudante consolidar um interpretante lógico que se mostre em desacordo com o construto científico: instaura-se uma concepção alternativa. O trecho acima transcrito também fornece, assim, interpretação semiótica para as inúmeras evidências já apresentadas na literatura acerca da permanência de tais concepções (Viennot, 1979; Driver, 1981; Santos, 1999; Campanario e Otero, 2000), uma vez que, atuando como signo, uma concepção alternativa pode mostrar-se resistente à mudança ou ampliação enquanto sua ação for *suficiente para a função que cumpre em determinada situação*.

Retomando especificamente a relação estabelecida entre os construtos científicos e os objetos do qual captam aspectos, já foi mencionado que as relações estabelecidas entre

signo e objeto nesse processo comunicativo podem influenciar a ideia de realidade dos estudantes.

Considerando a ontologia das entidades químicas, o realismo científico é repetidamente interpretado como prejudicial à aprendizagem das ciências, desde que a crença ingênua na existência material de entidades teóricas implica a primazia dos objetos sobre os indivíduos envolvidos em sua construção. Por outro lado, o idealismo surge como excesso de relativismo igualmente arriscado.

As tríades mencionadas na seção 1.2 do presente trabalho falham em não explicar, e mesmo em apresentar contradições, acerca da relação entre evidências, interpretações e representações.

Ao ligar teorias e linguagem à terceiridade peirceana, a interpretação fenomenológica e semiótica da atividade química proposta nesse trabalho aproxima-se do realismo crítico proposto por Bhaskar (1977), segundo o qual, apesar da ação dos objetos (realidade) poder ocorrer de maneira independente da atividade do observador, os interpretantes (conhecimento – teorias e linguagem) são condicionados a produções sociais anteriores.

No que se refere à autonomia da ciência química, dois aspectos foram sugeridos. O primeiro refere-se à linguagem da química (em seus aspectos icônicos, indiciais e simbólicos), que tem sido tratada por alguns autores como característica marcante desta área de conhecimento. O segundo ponto reside nos próprios objetos, desde que os interpretantes gerados na semiose química permitem não apenas a aproximação das qualidades da realidade material, mas também permitem alterá-las, chegando mesmo à criação de novos objetos.

Preparando-nos para a análise dos livros didáticos à luz do referencial teórico proposto, finalizamos a presente seção reiterando que, como apresentado, diferentes tentativas de caracterizar o conhecimento químico guiaram opções curriculares em diferentes níveis educativos. Tal fato nos permite defender a necessidade de elaboração de propostas mais consistentes, com maior potencial de generalização das diferentes atividades desenvolvidas pelos químicos.

A fenomenologia de Charles Sanders Peirce mostra-se interessante nesse sentido, não apenas no que se refere às generalizações permitidas, mas também no aspecto da compreensão do processo de comunicação que toma lugar nos ambientes de ensino e aprendizagem.

Considerando o modelo proposto, o abandono do triângulo proposto por alguns autores permite distinguir ontologicamente aspectos da atividade química e marca a distinção entre realidade dada e realidade produzida, nos termos propostos por Bachelard (1984). Dito de outra maneira, ao marcar a distinção entre realidade (objeto dinâmico), parcialmente acessível pelas interações que estabelecemos com o mundo – real dado – e os construtos científicos (interpretante lógico) – real produzido – evidenciam-se dimensões ontológicas não equivalentes. Tal distinção mostra-se pouco clara quando, retomando a já mencionada crítica proposta por Labarca (2010a), diferentes planos de argumentação são dispostos como vértices equivalentes de uma mesma figura plana.

Como será discutido no tópico seguinte, a própria forma de apresentação do conteúdo químico nos livros didáticos pode contribuir para as inadequações ontológicas e epistemológicas apresentadas anteriormente. Passemos, então, à análise das obras destinadas ao ensino superior de química ao longo do século XX.

Time transfixed, René Magritte, 1938. Fonte: <http://www.wikipaintings.org/en/rene-magritte>.

Análise dos livros didáticos

Capítulo 3

Análise dos livros didáticos

Apresentado o referencial teórico à luz do qual serão analisadas obras didáticas publicadas ao longo do século XX, especialmente no que se refere a seu aspecto imagético, cabe destacar que a proposta da semiótica como alternativa analítica surgiu posteriormente a uma primeira análise das referidas obras. Dessa forma, o presente tópico conta com descrição preliminar mais geral do conteúdo imagético analisado, além da análise semiótica propriamente dita.

Antes disso, porém, cabe lembrar que a análise dos livros didáticos compõe o eixo pedagógico da pesquisa, motivo pelo qual breves considerações sobre esse importante recurso educacional devem ser apresentadas.

3.1. Contexto pedagógico: aspectos gerais e importância dos livros didáticos para o ensino de ciências

Independente do nível de ensino, não cabem dúvidas acerca do importante papel dos livros didáticos nas salas de aula de ciências. Concordando com Martins (2012),

[...] esta importância é atestada, entre outros fatores, pelo debate em torno da sua função na democratização de saberes socialmente legitimados e relacionados a diferentes campos de conhecimento, pela polêmica acerca do seu papel como estruturador da atividade docente, pelos interesses econômicos em torno da sua produção e comercialização, e pelos investimentos de governos em programas de avaliação (Martins, 2012, p. 13).

A atuação dos livros didáticos não se dá apenas no âmbito da construção individual do conhecimento, mas também como importante influenciador curricular, uma vez que sua escolha representa, para parte significativa dos professores, uma das opções curriculares

mais importantes, de forma que esse instrumento passa a exercer efeitos poderosos sobre os enfoques docentes e as estratégias de aprendizagem dos estudantes (Campanario, 2001).

De fato, os livros promovem visão organizada do conteúdo trabalhado, resumindo o “consenso disciplinar” da área. Utilizando termos empregados por Kuhn (2007), os livros têm essencial importância na construção da *ciência normal*, pois reforçam a consideração de uma área do conhecimento como ciência, disseminando-a dentro de uma disciplina.

Um problema instala-se, porém, quando ao livro se atribui significado de corpo de conhecimento canonizado, inquestionável e irrevogável, criando-se a tendência à crença de que uma afirmação está em um livro por se tratar de um fato. Essa tendência mostra-se extremamente perigosa, pois leva à naturalização do livro didático pelo professor e pelos estudantes, que acabam por ceder ao livro “a autoridade de ditar as regras do jogo, de delimitar os conteúdos e as metodologias a serem adotadas” (Coracini, 1999, p. 37). Perdem-se, com isso, oportunidades de enriquecimento do processo educativo, uma vez que

A maior ou menor possibilidade de contrastar informações apresentadas aos estudantes, a probabilidade de conectar experiências extraescolares com as escolares, a diversidade de tarefas realizadas por estudantes e professores, etc. estão implícitas nos recursos utilizados durante a aula (Santomé, 1989, p. 54).

Torna-se quase inevitável assumir a influência, ainda que não exclusiva e, talvez, não mais predominante, do livro didático na formação dos estudantes que dele fazem ou fizeram uso em algum momento de sua trajetória acadêmica.

Diante do contexto delineado, os livros didáticos são convertidos, em maior ou menor grau, em referenciais diretos para conteúdos abordados, exemplos utilizados, atividades desenvolvidas e problemas propostos. Daí a importância de serem analisadas as propostas editoriais em suas diferentes dimensões.

Para Martins (2012), as investigações cujos objetos são os livros didáticos de ciências têm se concentrado, tradicionalmente, no levantamento de inadequações conceituais, havendo necessidade de ampliação das pesquisas relacionadas a aspectos diversificados como suas práticas de utilização em sala de aula, sua linguagem, padrões de apresentação gráfica, processos de seleção por professores, leitura do texto verbal e imagético pelos estudantes, visões de ciência veiculadas pelos livros didáticos, análises de imagens e ilustrações, análises dos gêneros discursivos, entre outros.

No caso da proposta agora apresentada, o foco recairá especialmente sobre sua dimensão imagética – ainda que não se deva perder de vista a influência das dimensões externas ao conteúdo científico, a fim de se prover a sua adequada contextualização. Passemos, assim, a breve revisão da literatura relacionada às imagens nos livros didáticos de ciências e de química, em especial.

3.1.1. Imagens nos livros didáticos de ciências

É fato inegável que os livros didáticos vêm tornando-se cada vez mais visualmente atraentes, principalmente em função dos avanços nas tecnologias de impressão e de construção/modificação de imagens por computador.

Bruzzo (2004) chama a atenção para o modo como o estudo da Natureza se configurou e popularizou nos séculos XVIII e XIX pela via da prosa ilustrada e destaca que a apresentação dos conhecimentos das ciências naturais de fato sempre esteve associada à inclusão de imagens, seja na forma de desenhos elaborados a partir de observação direta, mediadas por aparelhos ópticos e, mais atualmente, obtidas a partir de sofisticadas técnicas de produção de imagens.

As imagens são assumidas por Lemke (1998) como parte indissociável do discurso das ciências da Natureza, uma vez que “a ciência natural é proeminentemente um discurso sobre a *materialidade* do mundo” (Lemke, 1998 – destaque dado pelo autor). Ainda segundo o autor,

Quando cientistas pensam, falam, trabalham e ensinam, eles não usam apenas palavras; eles gesticulam e movimentam-se em espaços visuais imaginários definidos por representações gráficas e simulações, que por sua vez possuem expressões matemáticas que também podem ser integradas à fala [...] Eles combinam, interconectam e integram texto verbal com expressões matemáticas, gráficos quantitativos, tabelas informativas, diagramas abstratos, mapas, desenhos, fotografias e uma série de gêneros visuais únicos que não podem ser vistos em lugar algum (Lemke, 1998).

A importância das imagens, bem como a análise de sua presença em livros didáticos, vem sendo objeto de diferentes pesquisas na área de educação em ciências. Pode-se citar como exemplo bastante recente a obra “*O livro didático de ciências: contextos de exigência, critérios de seleção, práticas de leitura e uso em sala de aula*”, editado por Martins, Gouvêa e Vilanova (2012). Nela são apresentados quatro artigos que tratam, exclusivamente, das imagens nos livros de ciências, perpassando seu papel semiótico (associado a seu potencial comunicativo), funcional e conceitual, bem como destacando a necessidade de inclusão de temas associados à leitura de imagens na formação de nossos professores. Diversos outros trabalhos poderiam, ainda ser citados como os desenvolvidos por Perales e Jiménez (2002), Diaz e Pandiella (2007), Martins *et al.* (2007), Perales (2008), entre outros.

No caso específico da Química, apesar da reconhecida importância dos recursos visuais na construção e comunicação de seus conhecimentos, o número de pesquisas dedicadas à análise de imagens características dessa área do conhecimento em livros didáticos, embora crescente, ainda pode ser considerado relativamente reduzido. Podem ser citadas as pesquisas de Valladares *et al.* (2001); Sierra *et al.* (2005); Han e Roth (2005), Gibin,

Kiill e Ferreira (2009), Lemes, Souza e Cardoso (2010); Nunes e Ferreira (2010); Silva, Mota e Wartha (2011); Souza e Porto (2012) – ver *Quadro 1*.

Quadro 1. Exemplos de pesquisas dedicadas à análise de imagens de conteúdos químicos em livros didáticos.

Autores / Ano	Objeto e objetivos da investigação
Valladares <i>et al.</i> (2001)	Desenvolvimento de instrumento de análise de sequências didáticas de LDs destinados ao ensino de química e física no ensino médio que possibilita a determinação do papel que os autores atribuem às ilustrações.
Sierra <i>et al.</i> (2005)	Identificar algumas características da pluralidade representacional em LDs de química destinados ao ensino médio e suas possíveis implicações na estruturação e evolução da “ecologia representacional” de um grupo de estudantes.
Han e Roth (2005)	Análise semiótica ²⁶ de inscrições químicas relacionadas aos universos “macro” e “micro” em livros didáticos de ciências coreanos destinados ao ensino fundamental.
Gibin, Kiill e Ferreira (2009)	Ilustrações referentes ao conteúdo de equilíbrio químico presentes em LDs de química destinados ao ensino médio, considerando sua finalidade na sequência didática, grau de iconicidade ²⁷ , relação com o texto principal, funcionalidade e etiquetas verbais.
Lemes, Souza e Cardoso (2010)	Representações em <i>nível teórico-conceitual</i> relacionadas ao tema “dissolução” em LDs de química destinados ao ensino médio.
Nunes e Ferreira (2010)	Análise das representações de experimentação em LDs de química destinados ao ensino médio.
Silva, Mota e Wartha (2011)	Análise semiótica ²⁸ acerca do uso de imagens e/ou inscrições como forma de representação de fenômenos ou entes químicos (tema “estrutura da matéria”) por autores de LDs de química destinados ao ensino médio.
Souza e Porto (2012)	Identificação de tendências para o ensino de química durante o século XX a partir da análise iconográfica e textual de 31 obras destinadas ao ensino superior brasileiro de química no período.

Como sugere o quadro acima apresentado, se considerarmos as pesquisas que têm a análise de imagens em livros voltados ao ensino superior, esse número reduz-se ainda mais. É nessa perspectiva que está proposta a análise de livros de Química Geral utilizados no

²⁶ Apesar de os autores proporem-se a realizar análise semiótica das representações, cabe destacar que o termo “semiótica” é empregado em sua significação mais geral, ou seja, no sentido de análise de representações multimodais que significam algo para alguém. Na pesquisa em questão não foi empregado, portanto, referencial semiótico específico.

²⁷ Cabe destacar que a compreensão de iconicidade utilizada pelos autores não corresponde à compreensão peirceana apresentada nesse trabalho.

²⁸ Ver nota 26.

contexto universitário brasileiro ao longo do século XX, a ser apresentada no tópico seguinte.

3.2. Livros didáticos de Química Geral ao longo do século XX

Considerando o grande número de livros de Química Geral publicados durante o século XX, optou-se pela seleção de obras que apresentassem indícios de utilização nas salas de aula das universidades brasileiras no período. Segundo Choppin (2007), quatro critérios são fundamentais na avaliação da difusão de uma obra didática: sua vida editorial (diferença entre as datas da primeira e última edição); o número de edições anunciado; a presença em bibliotecas; e a disponibilidade em sebos.

Nesse contexto, foram considerados para análise os LDs encontrados, simultaneamente, nas bibliotecas das diferentes unidades da Universidade de São Paulo e Universidade Federal do Rio de Janeiro (as duas universidades pioneiras na educação em Química no país) e em sebos existentes por todo o território brasileiro²⁹, totalizando o conjunto de 31 obras apresentado na *Tabela 1*.

²⁹ A localização das obras deu-se através dos sistemas eletrônicos de acervo digital (*Dedalus* e *Minerva*, para as Universidades de São Paulo e Federal do Rio de Janeiro, respectivamente) e através do endereço eletrônico <<http://www.estantevirtual.com.br>>, o qual possibilita o acesso ao acervo de diferentes sebos brasileiros.

Tabela 1. Obras analisadas.

Ano de publicação	Obra	Publicação original
1901	TROOST, L. <i>Compendio de chimica</i> . Tradução da 29. ed. Francesa. Rio de Janeiro: H. Garnier.	França
1904	TEIXEIRA, M. J. <i>Noções de chimica geral</i> . 6. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves.	Brasil
1912	NERNST, W. <i>Traité de chimie générale</i> . v. 1 e 2. Tradução da 6. ed. alemã. Paris: Librairie Scientifique.	Alemanha
1913	MACIEL, M. <i>Elementos de chimica geral</i> . 2. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves.	Brasil
1917	McPHERSON, W.; HENDERSON, W.E. <i>An elementary study of chemistry</i> . 2nd.ed. Boston: The Atheneum Press.	EUA
1924	OSTWALD, W. <i>Compendio de química general</i> . Tradução da 6a. ed. alemã. Barcelona: Manuel Marín .	Alemanha
1927	BOLL, M. <i>Cours de chimie</i> . v. 1. Paris: Dunod.	França
1927	LAMIRAND, J. <i>Cours de chimie</i> . Paris: Masson et Cie.	França
1928	BAVINK, B. <i>Introducción a la Química General</i> . 2. ed. Barcelona: Labor.	Alemanha
1931	FRANCA, L. <i>Apontamentos de chimica geral</i> . 5. ed. Rio de Janeiro: Pimenta de Mello.	Brasil
1932	PUIG, Pe. I. <i>Curso geral de chimica</i> . Tradução da 2. ed. espanhola. Porto Alegre: Globo.	Espanha
1939	DEMING, H. G. <i>General chemistry: an elementary survey</i> . 4th. ed. New York: John Wiley & Sons.	EUA
1944	BABOR, J. A. <i>Química general moderna</i> . 2. ed. Barcelona : Manuel Marin.	EUA
1944	BRINKLEY, S. R. <i>Principles of general chemistry</i> . 3th. ed. New York : The Macmillan Company.	EUA
1946	HOLMES, H. N. <i>Introductory college chemistry</i> . 4th. ed. New York: The Macmillan Company.	EUA
1950	PARTINGTON, J. R. <i>Química general e inorgânica</i> . Madrid: Dossat.	Inglaterra
1972	PAULING, L. <i>Química geral</i> . 2. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico.	EUA
1965	HARDWICK, E. R. <i>Química</i> . São Paulo: Edgard Blücher.	EUA
1967	OHLWEILER, O. A. <i>Introdução à química geral</i> . 1. ed. Porto Alegre : Globo.	Brasil
1968	SIENKO, M. J. <i>Química</i> . 2. ed. São Paulo : Nacional.	EUA
1970	MAHAN, B. H. <i>Química: um curso universitário</i> . 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher.	EUA
1974	PIMENTEL, G. C.; SPRATLEY, R. D. <i>Química : um tratamento moderno</i> . 2v. 1. ed. São Paulo : Edgard Blücher.	EUA
1977	SLABAUGH, W. H. ; PARSONS, T. D. <i>Química geral</i> . 1. ed. Rio de Janeiro: LTC.	EUA
1977	O'CONNOR, R. <i>Fundamentos de química</i> . 1. ed. São Paulo : Harper & Row do Brasil.	EUA
1978	MASTERTON, W. L.; SLOWINSKI, E. J. <i>Química geral superior</i> . 4. ed. Rio de Janeiro: Interamericana.	EUA
1979	QUAGLIANO, J. V.; VALLARINO, L. M. <i>Química</i> . 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara.	EUA
1981	RUSSELL, J. B. <i>Química geral</i> . 1. ed. São Paulo : McGraw-Hill do Brasil.	EUA
1986	BRADY, J. E.; HUMISTON, G. E. <i>Química geral</i> . 2. ed. Rio de Janeiro: LTC.	EUA
1998	KOTZ, J. C.; TREICHEL, Jr., P. M. <i>Química e reações químicas</i> . 2 v. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC.	EUA
1999	BROWN, T. L.; LeMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. <i>Química: ciência central</i> . 7. ed. Rio de Janeiro: LTC.	EUA
2001 ³⁰	ATKINS, P. W.; JONES, L. <i>Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente</i> . 1.ed. Porto Alegre: Bookman.	EUA

³⁰ A edição brasileira de 2001 corresponde à tradução da edição publicada em 1999 nos Estados Unidos, além de ter sido a edição localizada em maior número nas bibliotecas pesquisadas. Por isso, foi considerada representativa do século XX.

Dois aspectos dos LDs foram considerados nessa primeira aproximação: o *imagético*, sendo analisadas e categorizadas as ilustrações presentes na obra, e o *textual*, considerando-se o texto de apresentação da obra, uma vez que é através dele que o autor torna explícitos os objetivos e estratégias adotados para o material. Dada a contínua interrelação entre texto e imagem, a leitura de trechos específicos da obra foi imprescindível para a compreensão do objetivo da ilustração analisada.

Selecionadas as obras, sua análise deu-se inicialmente a partir de suas ilustrações, as quais foram categorizadas, nesse primeiro momento, de forma independente do capítulo ou tema a que se referiam, visando unicamente uma análise exploratória das mesmas. Sob essa perspectiva, nove categorias, com subcategorias correspondentes foram propostas: (i) Laboratório e experimentação; (ii) Indústria e meios produtivos; (iii) Gráficos e diagramas; (iv) Ilustrações relacionadas ao cotidiano (com função meramente ornamental ou explicativa); (v) Modelos (cristalográficos / estruturais ou em nível atômico-molecular); (vi) Ilustrações que remetem à História da Ciência e (vii) Fotos ou esquemas de amostras de origem animal, vegetal ou mineral; (viii) Analogias; (ix) Conceitos de Física. As *fórmulas estruturais* poderiam ser consideradas como categoria específica, mas não foram consideradas para a presente análise, especialmente em sua abordagem quantitativa, por tratar-se de categoria muito numerosa.

As figuras a seguir trazem exemplos das imagens incluídas nas categorias acima mencionadas.

Figura 17. Exemplos para a categoria “Laboratório e experimentação”: **(a)** Balança de dois pratos (Ostwald, 1910); **(b)** Recipiente para armazenamento de ácido fluorídrico (McPherson e Henderson, 1917); **(c)** Inflamação do hidrogênio em contato com o ar e uma vela acesa (Troost, 1901); **(d)** Separação de pesticidas clorados dissolvidos em hexano, usando cromatografia em fase gasosa (Masterton e Slowinski, 1977); **(e)** Reação entre CaH_2 e água (Brown et al., 1999) .

Figura 18. Exemplos para a categoria “Indústria e meios produtivos”: **(a)** Manufatura da porcelana (McPherson e Henderson, 1917); **(b)** Fabricação do fósforo vermelho (Boll, 1927); **(c)** Alto forno (Masterton e Slowinski, 1977).

Figura 19. Exemplos para a categoria “Gráficos e diagramas”: **(a)** Curva de solubilidade (Nernst, 1912); **(b)** Raios atômicos (Brown et al., 1999); **(c)** Cores que correspondem, aproximadamente, às várias regiões do espectro visível (Quagliano e Vallarino, 1979); **(d)** Comparação dos níveis de energia do átomo de hidrogênio e do átomo de lítio (Mahan, 1970).

(a)

(b)

Figura 20. Exemplos para a categoria “Cotidiano”: **(a)** Pilha seca (Pauling, 1972); **(b)** O depósito de cromo, além de dar um ar decorativo, dá proteção eletroquímica ao aço dessa peça (Atkins e Jones, 2001).

Figura 21. Exemplos para a categoria “Modelos”: (a) Octaedro (Troost, 1901); (b) O mecanismo da eletrólise (Sienko e Plane, 1968); (c) Combustão do metano (Brown et al., 1999); (d) Diagrama ilustrando o equilíbrio de uma solução saturada (McPherson e Henderson, 1917).

Figura 22. Exemplos para a categoria “História da ciência”: (a) Gibbs (Kotz, 1998); (b) Experimento de Lavoisier sobre a composição do ar (Troost, 1901); (c) Laboratório alquímico (McPherson e Henderson, 1917).

(a)

(b)

FIG. 80.—Crystals of rhombic sulfur.

FIG. 81.—Crystals of monoclinic sulfur.

(c)

(d)

(e)

Figura 23. Exemplos para a categoria “Amostras de origem animal, vegetal e mineral”: **(a)** Suco opiáceo escorrendo de cápsulas de dormideira (Troost, 1901); **(b)** Gota de leite vista ao microscópio, Troost (1901); **(c)** Cristais de enxofre rômboico e monoclinico (Deming, 1939); **(d)** Esquema da estrutura molecular de cabelo, unha, músculo e proteínas fibrosas correlacionadas (Pauling, 1972); **(e)** Bactérias nas raízes da planta da ervilha (Atkins e Jones, 2001).

(a)

(a)

(b)

(c)

Figura 24. Exemplos para a categoria "Analogias". (a) Volume molar (Deming, 1939); (b) Equilíbrio financeiro (Holmes, 1946); (c) Analogia para o tópico estequiometria, incluindo os conceitos de reagentes, produtos, reagente em excesso e reagente limitante (Kotz, 1998).

(a)

(b)

Fig. 2.6 Coordenadas e velocidades usadas na teoria cinética dos gases.

(c)

(d)

(e)

Figura 25. Exemplos para a categoria “Conceitos de Física”. **(a)** Rotas de um ciclo e variação de energia interna (Boll, 1927); **(b)** Pêndulo (Bavink, 1928); **(c)** Coordenadas e velocidades usadas na teoria cinética dos gases (Mahan, 1970); **(d)** Energia potencial existente entre objetos que se atraem ou repelem (Brady e James, 1986); **(e)** A energia radiante tem características ondulatórias (Brown et al., 1999).

A combinação das análises imagética e textual permitiu a identificação de possíveis tendências para o ensino de Química no Brasil, constituídas a partir de diferentes influências, conforme será brevemente apresentado.

O período de 1900 a 1939, por exemplo, foi marcado pela circulação de obras de diferentes nacionalidades no contexto brasileiro. Assim, foram analisadas obras provenientes da França, Alemanha, Espanha, EUA e Brasil, o que teve como consequência a circulação de diferentes concepções para o ensino de química em nosso país. Tal assertiva fica clara na comparação do caráter mais descritivo e experimental das obras francesas (caracterizado pela predominância da categoria “Laboratório e experimentação”), mais aplicado e prático das obras estadunidenses (caracterizado pela ênfase nas categorias “Indústria e meios produtivos”) e mais matematizado e gráfico das obras alemãs (caracterizado pelo predomínio da categoria “Gráficos e diagramas”) ³¹ – ver *Quadro 2*.

Quadro 2. Total de ilustrações por obra e sua distribuição entre as categorias propostas.

Autor/Ano	País	Número de ilustrações	Distribuição entre as categorias (%)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
TROOST (1901)	FRA	291	59,1	23,0	0,0	3,1	0,0	4,1	10,7	0,0	0,0
BOLL (1927)	FRA	98	36,7	8,2	31,6	0,0	17,3	2,0	0,0	0,0	3,1
LAMIRAND (1927)	FRA	246	52,0	19,1	17,1	0,4	6,5	0,4	4,5	0,0	0,0
NERNST (1924)	ALE	54	37,0	0,0	46,3	0,0	7,4	0,0	3,7	0,0	0,0
OSTWALD (1924)	ALE	72	19,4	0,0	68,1	1,4	8,3	2,8	0,0	0,0	0,0
BAVINK (1928)	ALE	31	45,2	3,2	29,0	0,0	16,1	0,0	0,0	0,0	6,5
TEIXEIRA (1913)	BRA	37	16,2	0,0	5,4	0,0	78,4	0,0	0,0	0,0	0,0
MACIEL (1913)	BRA	9	11,1	0,0	0,0	0,0	66,7	22,2	0,0	0,0	0,0
FRANCA (1931)	BRA	4	0,0	0,0	50,0	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PUIG (1932)	ESP	187	46,5	33,7	4,3	0,5	7,0	0,0	8,0	0,0	0,0
McPHERSON (1917)	EUA	220	41,8	34,5	2,7	3,2	3,6	8,2	5,5	0,0	0,0
DEMING (1939)	EUA	170	27,6	32,4	13,5	1,2	15,3	4,1	2,4	1,2	0,6

³¹ Para mais detalhes sobre o estilo de ensino predominante nas diferentes obras analisadas, ver Souza e Porto (2012).

Apesar da considerável diversidade de origem das obras didáticas no período que compreende o final do século XIX e início do XX³², as décadas seguintes parecem assistir, além da redução da produção brasileira, à “invasão” não só dos materiais, mas da filosofia estadunidense de ensino. De fato, dentre as 20 obras consideradas representativas do período entre 1940 e 2001 apenas duas não tiveram sua origem nos EUA. Tal predominância parece ser devida, principalmente, aos esforços de difusão da cultura estadunidense no período da Segunda Guerra e a acordos educacionais estabelecidos entre Brasil e EUA principalmente na década de 1960.

No início dos anos 1940, com o advento da Segunda Grande Guerra, os EUA moveram consideráveis esforços no sentido de criação de um “jogo de sedução” que tinha por objetivo conquistar a simpatia da população da América Latina pelo chamado *American way of life*. No Brasil dos finais da década de 1930 e início dos anos 1940, a faceta técnico-consumista dos EUA não agradava muito, especialmente, aos militares brasileiros, que viam “a produção em massa das indústrias de bugigangas dos norte-americanos como desvarios de uma sociedade excessivamente materializada e mercantilizada” (Tota, 2000, p.23), em contraposição ao modelo germânico, fascinante e aparentemente muito promissor, pelo menos até a primeira metade da década de 1940. Os principais artifícios envolvidos nessa conquista eram os meios de comunicação, especialmente o rádio e o cinema, mas Quintaneiro (2002) ressalta que, frente a um ensino superior brasileiro dominado, principalmente, pela literatura francesa e alemã, etapa importante da difusão cultural seria

[...] a distribuição a estudantes universitários de livros técnicos e de manuais, traduzidos para o português, nas áreas de medicina, engenharia, matemática, história, ciências físicas e sociais, entre outras (Quintaneiro, 2002, p. 145).

³² Nesse período o Brasil contava com outros autores importantes de livros didáticos de química, como Álvaro de Oliveira, Moraes e Valle, Domingos Freire e Pecegueiro do Amaral, além dos já citados (Rheinboldt, 1955).

Mas a entrada massiva de literatura estadunidense no Brasil, pelo menos no que concerne ao escopo dessa pesquisa, deu-se a partir da década de 1960. E, nesse momento, cabe a discussão de outro fator, também relacionado à entrada dos ideais estadunidenses na sociedade brasileira.

No final da década de 1950, a universidade brasileira começa a sofrer muitas críticas e consequentes mobilizações tanto do Governo quanto da comunidade acadêmica, reivindicando necessária reforma (Paula, 2009). Com a intenção de valer-se de exemplos considerados de sucesso no que se refere ao planejamento e administração universitários, o governo brasileiro solicitou ajuda da USAID (*United States Agency for International Development*). Como resultado desse processo, em 1965 e 1967 foram assinados os acordos MEC/USAID, que previam assistência na forma de seminários, cursos e consultorias objetivando o desenvolvimento dos diferentes níveis de ensino no Brasil. Entre os pontos do convênio constava o aumento substancial da distribuição gratuita de livros didáticos às escolas de níveis primário e médio, e a facilitação do acesso de estudantes de nível superior aos livros técnicos, em número cada vez maior e a baixo custo. Para garantir tal proposta, criou-se, pelo Decreto nº 59.355 de 4 de outubro de 1966, a Comissão do Livro Técnico e do Livro Didático (COLTED), sendo prevista a distribuição de 51 milhões de livros até 1969 (Alves, 1968).

Ainda que não se tenha tido acesso aos registros de compra do COLTED, considerando que o Brasil não dispunha de livros atualizados de Química Geral produzidos por autores brasileiros, não seria precipitada a constatação de que a maioria (se não a totalidade) de livros técnicos da área distribuídos no Brasil tivesse sua origem nos EUA. Além disso, cabe destacar que uma das atribuições do Ministério da Educação e Cultura do Brasil e do COLTED nesse acordo seria a criação e implantação de um programa de incentivos,

bolsas, prêmios e seminários para autores e ilustradores brasileiros, a fim de propiciar sua participação na concepção de livros de qualidade (Alves, 1968). Ainda que não se possa estender tal assertiva para o ensino secundário, a ausência de autores brasileiros na amostra sob análise permite sugerir que a proposta não foi levada a cabo para o ensino superior.

Além das mudanças nas influências culturais, também merece destaque a alteração na distribuição das ilustrações analisadas entre as categorias propostas. O período entre 1900 e 1950 foi responsável por um total de 2280 ilustrações, número que aumentou para 5021 nos livros da segunda metade do século, totalizando 7301 ilustrações analisadas. É interessante notar, no entanto, o deslocamento nas prioridades de representação, especialmente do prático e aplicado para o teórico, com sensível diminuição no número de representações associadas ao laboratório, à experimentação e à indústria, com correspondente aumento de representações do tipo modelo em nível atômico-molecular e gráficos cartesianos.

Tal inversão pode ser mais bem observada na análise das ocorrências das ilustrações por categoria ao longo das décadas.

Figura 26. Ocorrências para a categoria “Laboratório e experimentação” ao longo das décadas ³³. As porcentagens foram calculadas considerando o total de ilustrações para cada período.

³³ Apesar de a divisão do gráfico apresentar-se, majoritariamente, em décadas, o período de 1950 a 1969 foi unificado em razão da presença de uma única obra representante da década de 1950.

Figura 27. Ocorrências para a categoria “Modelos” ao longo das décadas. As porcentagens foram calculadas considerando o total de ilustrações para cada período.

O maior “salto”, negativo no caso da categoria “Laboratório e experimentação”, e positivo no caso da categoria “Modelos”, parece ter ocorrido na transição da década de 1940, estendendo-se pelos anos 60 do século XX.

De fato, durante o “*Symposium on the contents of the basic courses in Chemistry*”, realizado em 1951 em Nova Iorque, como parte integrante do 120º Encontro da *American Chemical Society* (ACS), Tamres e Bailar, Jr. (1952) defenderam veementemente, num texto de tom bastante prescritivo, a importância dos princípios no ensino de Química, em detrimento da superficialidade dos fatos:

O enfoque nos princípios se faz necessário porque os fatos da química – propriedades e usos de substâncias químicas – se acumularam tão rapidamente que ninguém pode esperar lembrar deles, a não ser que eles sejam reduzidos a seus princípios subjacentes. E mesmo que eles fossem lembrados, pouco significariam aos estudantes e não seriam usados para prever outras propriedades (Tamres e Bailar Jr., 1952, p. 218).

Sob essa perspectiva, os conteúdos de química descritiva passam a assumir caráter cada vez mais ilustrativo, ou seja, passam a ser importantes enquanto *exemplificação* do verdadeiro *corpus* do conhecimento químico, os conceitos e princípios. Ainda segundo os autores, a presença do conteúdo descritivo também seria “permitida” no ensino dessa

ciência quando fosse de interesse ao cotidiano dos estudantes, conforme evidencia o trecho que segue:

Há, é verdade, certas exceções à regra de que a química descritiva deve ser ensinada somente quando ilustra a teoria. Alguma [química descritiva] deve ser ensinada simplesmente porque tem o apelo dos estudantes ou muitas relações com a vida. Assim, as causas e efeitos da dureza da água, a natureza venenosa dos compostos de arsênio, cobre e bário e a cor amarela do ouro não são prontamente objetos de interpretação teórica no curso de química geral. Mas, mesmo em tópicos como esses, os princípios devem ser evocados tanto quanto possível (Tamres e Bailar Jr., 1952, p. 218).

O novo papel assumido pela química descritiva também pôde ser observado nos textos de apresentação das obras. No texto de Brinkley (1944), por exemplo, o autor propõe a integração dos conteúdos descritivos com a teoria explicativa e preditiva:

As teorias atômica e cinética são desenvolvidas e aplicadas na interpretação das propriedades físicas e químicas das substâncias. *A química do oxigênio e do hidrogênio é empregada para apresentar mais aplicações da teoria atômica e servir como revisão de assuntos como equações químicas, cálculos, entre outros.* Os halogênios e metais alcalinos são revisitados à luz dos conceitos de estrutura atômica; e esses tópicos fornecem base experimental para a discussão da ionização e das reações iônicas (...) O material teórico é agrupado, em grande parte, na primeira metade do livro, mas um conjunto suficientemente extenso de material descritivo é incluído *para servir como base à apresentação das teorias em sua verdadeira perspectiva* (Brinkley, 1944, p. v-vi – destaques nossos).

A maior ênfase nos princípios, e em sua aplicação à explicação e previsão das propriedades das substâncias e ocorrência de fenômenos químicos, assumiu, ainda, outra dimensão no que se refere às estratégias de representação, além da multiplicação dos modelos em nível atômico-molecular: a associação destes com o nível macroscópico, de ocorrência dos fenômenos, como se exemplifica na *Figura 28*.

Dentre as obras analisadas, a primeira observação de associação de diferentes níveis de representação como estratégia de apresentação do conteúdo foi observada na obra de Nernst, publicada em 1912. Tal estratégia mostrou-se timidamente presente até o final da

década de 1930, quando passou a ser utilizada com maior frequência, conforme demonstra a Figura 29.

Figura 28. Exemplos de ilustrações que se utilizam da associação entre os níveis fenomenológico e teórico-conceitual de representação dos fenômenos. **(a)** Mecanismo da condução eletrolítica (Nernst, 1912); **(b)** O volume ocupado por um dado número de moléculas varia inversamente com a pressão (Holmes, 1946); **(c)** Alcance das forças moleculares em um líquido (Partington, 1950) **(d)** Remoção de íons da água por meio de moléculas gigantes que contêm grupos ácidos e básicos (Pauling, 1972); **(e)** Cristais de enxofre - “Aos olhos de um químico, não somente são bonitos, mas também são vistos como um conjunto de moléculas em forma de coroa formadas por oito átomos de enxofre unidos como mostrado no destaque” (Atkins e Jones, 2001, p. 134).

Figura 29. Ocorrência de associação entre as categorias ao longo das décadas. As porcentagens foram calculadas considerando o total de ilustrações para cada período.

Cabe destacar que, ainda que a maioria das associações tenha se dado entre as categorias “Laboratório e experimentação” e “Modelos”, outras associações foram observadas, como a também destacada associação entre “Laboratório e experimentação” e a categoria “Gráficos”, e outras menos frequentes entre “Amostras de origem animal, vegetal ou mineral” ou “Indústria e meios produtivos” e “Modelos”, como demonstra a *Figura 30*.

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 30. Exemplos de associação entre categorias (diferentes formas de representação). **(a)** Energia de dois átomos de iodo que vão sofrer uma colisão – Associação entre as categorias “Gráficos e diagramas” e “Modelos” (Pimentel e Spratley, 1974); **(b)** Orbitais moleculares formados pela combinação de dois orbitais 1s – Associação entre as categorias “Gráficos e diagramas” e “Modelos” (Masterton e Slowinski, 1978); **(c)** Maneira simples de demonstrar a lei de Boyle – proposta de experimento com seringa, béquer e chumbinho - Associação entre as categorias “Gráficos e diagramas” e “Laboratório e experimentação” (Kotz, 1998); **(d)** Esta sequência de imagens ilustra porque os sólidos iônicos são quebradiços - Associação entre as categorias “Amostras de origem animal, vegetal ou mineral” e “Modelos” (Atkins e Jones, 2001).

Dois outros fatores parecem ter assumido especial importância na atribuição de um caráter cada vez mais “acessório” à química descritiva pelos autores estadunidenses: os

objetivos assumidos pelos EUA para a educação em ciências no período de guerra e pós-guerra, e o rápido desenvolvimento do conhecimento químico, que “colocou em xeque o tempo disponível para a química descritiva num curso introdutório” (Sienko e Plane, 1961).

Em relação ao primeiro fator mencionado, uma análise das publicações do *Journal of Chemical Education*, principal e mais antigo periódico relacionado à educação em química dos EUA, revela uma série de artigos que evidenciam a forte influência que a indústria exercia sobre os currículos dos cursos superiores de química. Tal relacionamento mostrou-se estreito desde a década de 1920 (o primeiro número desse periódico foi publicado em 1924), período no qual vários artigos procuravam ressaltar o importante papel da química na indústria; mas parece ter sido intensificado no final da década de 1930 e início dos anos 1940, sendo significativamente fortalecido no período pós-Segunda Guerra. Nesse período, foram várias as comunicações que discutiam as expectativas e necessidades da indústria, e que propunham a melhor adequação dos currículos em química aos seus interesses (White, 1931; du Pont, 1937; Willard, 1937; Galt, 1937; Robertson, 1940; Moore, 1941; Hauser, 1943; Rinenart, 1947; Quill, 1947; Murphy, 1947).

As novas competências e habilidades a serem desenvolvidas foram apresentadas por White (1931) no artigo “*Chemical industry and the curriculum*”:

A formação geral de um estudante deveria levá-lo a pensar com precisão e expressar-se com clareza. Seu treinamento profissional deveria ser direcionado a uma esfera específica de utilidade. Há 30 anos, a habilidade de realizar análises era a finalidade mais importante. Hoje, a maioria das análises de rotina é feita por analistas inexperientes. Até recentemente, o químico saía de seu laboratório para supervisionar operações industriais dirigidas por superintendentes que não tinham formação em química. Hoje, as operações industriais são dirigidas por superintendentes que entendem a teoria tão bem quanto a técnica da operação industrial. O laboratório industrial já não é mais uma meta. As áreas valorizadas são a pesquisa, desenvolvimento e operação. Todas elas requerem a habilidade de aplicar leis gerais a novas condições. Matemática e física devem ser enfatizadas e trabalhadas com especial atenção na formulação de problemas. O trabalho de laboratório deve ser restrito, e os princípios e problemas enfatizados (White, 1931, p. 2016).

A formação de químicos cada vez mais conscientes de seu trabalho, no sentido de mais criadores e menos reprodutores, fez-se ainda mais necessária no período pós-guerra, quando o sucesso dos projetos da química, além de promovê-la enquanto ciência, abria várias oportunidades de emprego para um futuro próximo em suas indústrias (Quill, 1947), criando postos que deveriam ser assumidos por pessoal qualificado a promover o progresso do país (Hauser, 1943). Quill (1947) evidenciou sua preocupação com a formação dos novos químicos:

O sucesso de muitos projetos da química no esforço de guerra serviu para tornar a química glamorosa. Jovens estão se inscrevendo para nossa profissão, pois se acredita que haverá grande necessidade de químicos nos próximos anos. Contudo, a maioria dessas pessoas não está qualificada a se formarem químicos – são mais adequados para treinamento como laboratoristas ou técnicos (Quill, 1947, p. 369).

É em busca da formação qualificada que os princípios da química passam a ser mais valorizados, atribuindo-se papel meramente ilustrativo às questões mais práticas.

Conforme mencionado, o avanço sem precedentes do conhecimento químico também foi responsável pela presença cada vez menor da química descritiva nos cursos introdutórios de química. O mesmo vale para a aproximação cada vez maior com os conceitos da física. Em análise de 25 livros didáticos utilizados nos *Colleges* estadunidenses no período de 1913 a 1937, Dunbar (1940) observou aumento significativo, ao longo dos anos, na ênfase em temas como colóides, ionização, radioatividade e estrutura atômica e molecular. Observação semelhante também foi feita por Nicholson (1956) ao realizar análise de livros didáticos publicados entre 1946 e 1955. Segundo o autor, a diminuição das distâncias entre a física e a química foi responsável por mudanças do conteúdo e do estilo da maioria dos textos didáticos, os quais teriam assumido o que denominou como “*physical approach*”. Tais resultados corroboram e justificam a maior presença de ilustrações

classificadas como “Conceitos de física” em nossa análise. Cabe destacar, porém, que esse aumento deu-se de forma muito mais pronunciada entre os anos 1950 e 1960 (ver *Figura 31*).

Figura 31. Ocorrências para a categoria “Conceitos de física” ao longo das décadas. As porcentagens foram calculadas considerando o total de ilustrações para cada período.

A nova tendência de ênfase nos princípios e nos conteúdos matemáticos e físicos não foi unanimemente bem recebida, sendo que alguns autores atribuíam a ela o reduzido número de estudantes interessados em aprofundar seus conhecimentos em química, em contraposição ao *boom* esperado na carreira para o período do pós-guerra. Nicholson (1956), defensor do conteúdo de química descritiva como componente “vital” de um curso introdutório de química, sugeria que o “*physical approach*” poderia ser causa parcial do pouco interesse dos ingressantes nos *Colleges* que, assustados, não optariam por aprofundar seus estudos em química. Seguindo a mesma direção, ainda que não apontando diretamente para os mesmos pontos mencionados por Nicholson (1956), Rakestraw (1958) também propunha que a escassez de pessoal na área das ciências e das técnicas seria reflexo da evidente ineficiência da educação em ciências em todos os níveis, mas especialmente no secundário.

Frente à necessidade não só de mais cientistas e mais engenheiros, mas dos melhores profissionais nessas áreas (Rakestraw, 1958), novas alternativas curriculares começam a ser pensadas, a começar pelo questionamento da divisão clássica e estanque da química, em geral, orgânica e inorgânica, e da quase exclusividade do ensino de princípios. Assim, durante as atividades do “*Symposium on new ideas in the four-year chemistry curriculum*”, no 132º Encontro da ACS ocorrido em Nova Iorque em 1957, Strong e Benfey (1958) afirmavam que:

O currículo de química enfrenta um impasse. Houve um grande movimento contrário ao ensino das miríades de fatos isolados, o qual se mostrou na transformação do curso de primeiro ano em um curso de estudo dos princípios químicos (...) Não há mais espaço para mais princípios, e nem podem eles ser unificados e simplificados sem a ajuda da termodinâmica ou da teoria quântica. Para isso, porém, os calouros não estão preparados. Além disso, o deslocamento da aprendizagem do conteúdo descritivo e das habilidades nos últimos anos significou a quase impossibilidade de encontrar espaço nos cursos mais avançados para uma discussão mais detalhada e madura dos conceitos químicos. Apenas aqueles que sobreviveram a um ano de abstrações e dois anos de treinamento de habilidades e assimilação de dados factuais terão o privilégio de ganhar, ao final do curso, uma visão equilibrada dos métodos e objetivos da química (Strong e Benfey, 1958, p. 164).

Além do maior uso de representações referentes à categoria modelos, as obras publicadas no início da década de 1950 e ao longo dos anos 1960, tiveram redução significativa no número de ilustrações referentes à categoria “Indústria e meios produtivos” e à categoria “Cotidiano”, conforme ilustram as *Figuras 32 e 33*.

Figura 32. Ocorrência da categoria “Indústria e meios produtivos” ao longo das décadas. As porcentagens foram calculadas considerando o total de ilustrações para cada período.

Figura 33. Ocorrência da categoria “Cotidiano” ao longo das décadas. As porcentagens foram calculadas considerando o total de ilustrações para cada período.

Sobre tal tendência, observada especialmente na década de 1960, Gómez-Ibáñez (1972) afirmou durante o *Simpósio Internacional de Educação em Química*, ocorrido em São Paulo, em 1971:

Sinto que o conteúdo dos cursos básicos tende a oscilar entre dois extremos: um é primariamente descritivo e o outro se inclina fortemente para os princípios. Contrariando a série de fatos, dispositivos e detalhes de processos industriais que apresentava o livro de trinta anos atrás, o início dos anos 1960 assistiu a promoção de novos cursos introdutórios nas ciências refletir uma abordagem mais moderna do ensino de química. Alguns desses livros sofreram duras críticas, sendo classificados como “dogmáticos” (Gómez-Ibáñez, 1972, p. 363).

Na sequência de sua fala, Gómez-Ibáñez citou, ainda, Ronnenberg, que, em 1970, constatava que “[de maneira geral] esses cursos, e outras tentativas curriculares de

melhorar os cursos elementares de ciências, na realidade alienaram muitos estudantes em relação às ciências” (Ronnenberg, 1970 *apud* Gómez-Ibáñez, 1972).

A ideia de ênfase quase exclusiva nos princípios, apesar de duramente questionada desde meados da década de 1960, continuou circulando no Brasil por intermédio dos textos de apresentação das obras, geralmente escritos num período anterior à real publicação da obra no Brasil. Seguem exemplos de trechos de *Química Geral*, de Linus Pauling. A obra analisada foi publicada no Brasil em 1972, como a quarta reimpressão (1966, 1967, 1969, 1972) da segunda edição publicada em 1965 nos Estados Unidos (a primeira edição original foi publicada em 1947, sob o título de *General Chemistry*). Na versão em português, são apresentados os prefácios das duas primeiras edições.

Química é um assunto extenso, que continua a crescer à medida que se descobrem ou preparam novos elementos, se sintetizam novos compostos ou se formulam novos princípios (...) No passado, um curso de química geral tendia a ser uma colcha de retalhos de química descritiva e certos tópicos teóricos. O progresso feito nas últimas dezenas de anos foi tão grande que a apresentação da química geral aos alunos da geração presente pode ser feita de maneira mais simples, direta e lógica que anteriormente (...) Fatos de química descritiva são apresentados em quantidade limitada, suficiente para fornecer ao aluno uma introdução à variedade de substâncias químicas e à sua interessante diversidade de propriedades, mas insuficiente para confundi-lo ou soterrá-lo sob uma avalanche de fatos (Pauling, 1972, p. XI - Prefácio da primeira edição, Pasadena, Califórnia, 11/04/1947).

A introdução de princípios gerais novos, devidos ao desenvolvimento da química teórica, tornou possível omitir parte da matéria anteriormente incluída num curso introdutório. Em particular, pode-se gastar uma fração menor de tempo no aprendizado dos fatos da química descritiva, porque muitos desses fatos foram correlacionados e sistematizados por novos princípios (Pauling, 1972, p. VIII - Prefácio da segunda edição, Pasadena, Califórnia, 28/02/1953).

É interessante notar como o discurso aplicado aos currículos dos *Colleges* foi incorporado no contexto brasileiro. A obra de Slabaugh e Parsons, *General Chemistry*, publicada em 1971, traduzida e impressa no Brasil em 1974 e reimpressa em 1977, continha, originalmente, dois capítulos destinadas à química descritiva, os quais foram retirados da

edição em português. Tal influência fica também evidente no prefácio de 1967, mantido na edição de 1971, elaborado por Ohweiler, único autor brasileiro a ter uma obra analisada por essa pesquisa no período posterior a 1950:

O acelerado ritmo de desenvolvimento da Ciência, nos dias atuais, determina a necessidade de uma constante reavaliação dos métodos de ensino. Isto é particularmente válido, por exemplo, com relação à Química Inorgânica que, passando por um novo auge, acumulou, nas últimas décadas, uma enorme soma de dados concernentes a seu campo. Consequentemente, o estudo desse importante setor da Química, em sua forma clássica, isto é, em termos meramente descritivos, tornou-se difícil e, ainda mais, impraticável. Felizmente, a teoria avançou paralelamente com a observação experimental. Os dados acumulados foram submetidos a um processo de sistematização, que criou as condições para o tratamento dos problemas não mais de um ponto de vista fenomenológico, mas a partir de um conjunto coerente de princípios e teorias gerais assentadas nas propriedades atômicas e moleculares fundamentais (Ohweiler, 1971, p.viii).

É verdade que alguns autores já vinham identificando problemas na nova estratégia curricular, como evidencia o prefácio da obra de Sienko e Plane, escrito em 1961, e apresentado na versão em português publicada em 1968:

A importância dada ao estudo das ciências físicas, particularmente nos anos do estudo médio, em vez de diminuir, complicou consideravelmente os problemas encontrados nos primeiros anos do curso universitário de química. O mais sério desses problemas talvez seja a grande diversificação encontrada na compreensão dos conceitos pelos estudantes. Assim, entre os estudantes mais diferenciados, essa compreensão parece ter melhorado, mas piorado entre os mais fracos (...) O maior conhecimento provavelmente provém de um contato mais amplo com as aplicações da ciência moderna; a menor compreensão, da aceitação universal de superficialidade às custas da profundidade intelectual. Qualquer que seja a explicação, o fato é que a maioria dos estudantes prefere memorizar a pensar (Sienko e Plane, 1968 – Prefácio à segunda edição).

A leitura dos textos introdutórios também evidencia que o referido insucesso cada vez mais passou a ser agravado por uma mudança no público ingressante nos cursos superiores. A “grande diversificação encontrada na compreensão dos conceitos pelos estudantes” alertadas por Sienko e Plane, certamente estava relacionada à grande heterogeneidade dos ingressantes nos cursos superiores, em razão da massificação do

ensino nos Estados Unidos no período entre 1950 e 1985, quando se observou aumento de cinco vezes no número de estudantes (Novak, 2007). Essa heterogeneidade não se referia apenas à bagagem, mas também a diversidades de interesse e habilidades, o que fica claro nos trechos que seguem:

Fomos também influenciados pela mudança de composição do corpo estudantil em química geral. Muito poucos dentre os nossos estudantes têm química como matéria principal – a maior parte está preparando-se para carreiras nas áreas de engenharia, ciências biológicas, medicina e profissões correlatas. Eles não estão interessados em teoria abstrata; por outro lado, querem saber como os princípios de química podem ser aplicados às suas áreas de interesse e, de um modo mais geral, ao mundo à sua volta (Masterton, 1978, p.vii - Prefácio).

Entre os estudantes que recebem química geral introdutória, hoje em dia, as perspectivas vocacionais, a bagagem educacional e as motivações parecem ser mais amplas do que antigamente e através dessa obra procurei ter isso em mente (Russel, 1981 - Prefácio).

O Brasil também foi palco da massificação no ensino universitário na virada da década de 1960 para 1970, com superlativo aumento das vagas e decorrentes dificuldades, apresentadas pelos editores brasileiros no prefácio à edição em português da obra de O'Connor, publicada no Brasil em 1977:

(...) [esta obra] vem resolver problemas decorrentes da 'massificação do ensino', que atualmente leva a um maior número de alunos por turma (...) uma vez que apresenta uma solução válida aos problemas mais comuns inerentes à estrutura de ensino superior brasileira: preparo inadequado dos alunos para iniciar seus estudos na universidade, falta de motivação e desnível entre os alunos, e ainda, tempo insuficiente por parte dos professores para preparo de suas aulas (in O'Connor, 1977 – Prólogo à edição em português).

Frente aos problemas relatados, retomemos o final da década de 1950, quando uma das maiores preocupações do governo estadunidense, no que se refere à educação, era recuperar o interesse dos estudantes pelas ciências. Era necessário melhorar a imagem pública da ciência (Rakestraw, 1958) e promover a alfabetização científica, formando cidadãos capazes de entender os métodos da ciência e o papel da química na sociedade e no

cotidiano (ACS, 1958). Uma das principais estratégias propostas para o ensino secundário foi a adoção do tema central “Ligações químicas”, a partir do qual o curso deveria ser desenvolvido, sob uma base experimental. Já para o ensino superior, uma das principais discussões era a necessidade de estabelecimento de um equilíbrio entre os aspectos práticos e teóricos (Nicholson, 1956; Nyholm, 1957; Hammond, 1970; Hammond e Nyholm, 1971) e a desconstrução da divisão clássica e estanque das subáreas da química, a qual seria responsável por um “paroquialismo” prejudicial, ao dificultar o reconhecimento da química como uma ciência de interfaces (Hammond, 1970; Hammond e Nyholm, 1971).

Como forma de expressão do currículo, os livros didáticos acompanharam tais tendências, e seus autores passaram a evidenciar maior preocupação com o entendimento dos estudantes e com o estabelecimento de relações entre o conhecimento químico e possíveis áreas de interesse dos mesmos, tendência mais uma vez evidenciada nos textos de apresentação das obras.

Através de curtas introduções às unidades, poderemos também sugerir algumas das aplicações da química em outras áreas; é por isso que a química deve ser conhecida, mesmo se vocês não vão ser químicos profissionais (O'Connor, 1977 – Prefácio ao estudante).

Ao revisar o texto tivemos dois objetivos principais: tornar o texto mais útil, legível e interessante para os estudantes (...) entremeamos mais exemplos de substâncias e aplicações da química nas discussões. O aspecto visual do livro também foi melhorado e um grande número de fotografias foi adicionado para tornar a química mais viva para os estudantes. Além disso, a forma pela qual os tópicos discutidos em cada capítulo relacionam-se com o mundo que nos cerca é enfatizada pela fotografia que inicia cada capítulo (Brady e James, 1986 – Prefácio).

[tivemos como objetivo principal] oferecer ampla visão dos princípios da química e da reatividade dos elementos e compostos químicos. Também tentamos transmitir a ideia de a química, que tem uma história expressiva, ser também um campo dinâmico, com novos e importantes desenvolvimentos à vista. Além disso, procuramos mostrar aspectos químicos do nosso ambiente. Por exemplo, quais os materiais importantes para a economia? Como a química contribui para a medicina? (Kotz e Treichel, 1998 p. v – Prefácio).

A forma como essas tendências se manifestam também nas ilustrações constitui observação ainda mais interessante. Retomando a análise das *Figuras 26 e 27*, é notório o aumento da presença de ilustrações referentes ao “Cotidiano” na década de 1980. Ainda que muito menos pronunciado, também pode ser observado aumento na ocorrência de ilustrações pertencentes à categoria “Indústria e meios produtivos”. É necessário destacar, ainda, que parte significativa das ilustrações referentes ao cotidiano, presentes nas obras das décadas de 1980 e 1990, apresentavam função ornamental. Na obra de Brown *et al.* (1999), por exemplo, 69% das ilustrações relativas ao cotidiano tinham função meramente estética no texto, porcentagem que foi de 60% na obra de Kotz e Treichel (1998), e de 50% na de Atkins e Jones (2001). A *Figura 34* traz alguns exemplos das referidas subcategorias.

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 34. “Cotidiano” com função explicativa (a e b) e com função ornamental (c e d). **(a)** Corrosão de um prego introduzido na madeira. A ferrugem se acumula próximo da cabeça do prego, mas a corrosão ocorre ao longo de seu comprimento (Masterton e Slowinski, 1977); **(b)** Névoa química em Los Angeles, EUA. A névoa é provocada em grande parte pela ação da luz solar sobre os gases do escapamento de automóveis (Brown et al., 1999); **(c)** Escolhas – O uso que o homem fará de seu conhecimento das reações químicas depende, numa sociedade livre, das escolhas conjuntas dos cientistas e dos não cientistas (O’Connor, 1977); **(d)** O navio de pesquisa Alpha Helix é usado por cientistas para procurar organismos marinhos que contenham compostos de valor medicinal (Atkins e Jones, 2001).

Apesar dessa reaproximação dos aspectos aplicados da ciência química ser apresentada nos textos e artigos como estratégia necessária para uma divulgação da química “tal como ela é”, em contraposição à visão compartimentada da metade do século XX, investigação realizada sobre o uso dos livros didáticos nos cursos de química geral do Instituto de Química da USP – São Paulo (Souza, Mate e Porto, 2011), aponta para outro fator, no mínimo, intrigante. Quando perguntada sobre suas percepções e memórias sobre a utilização dos livros, uma professora deu o seguinte depoimento:

(...) na década de 70, o [livro] mais famoso era o Mahan, mas *era um aluno diferente, uma época diferente*. Olhando agora o livro do Mahan (...) a gente já falava sobre o Mahan e falava ‘olha, é um livro árido, é um livro que não quer ser atraente, ele não faz concessão pra ser agradável, é um livro rigoroso’, mas, naquela época, *o aluno aguentava isso* [...] Quando começou a entrar em 80 o aluno não seguia, se você puxava muito o aluno não ia... Então eles não iam conseguir pegar um livro mais pesado. *O livro tinha que se adaptar ao aluno, conforme a capacidade do aluno acompanhar* (Souza, Mate e Porto, 2011, p. 882).

O relato apresentado leva à reflexão sobre até que ponto as modificações curriculares e pedagógicas propostas representam avanço ou retrocesso na educação em química, ou ainda sobre como tais propostas têm sido interpretadas por aqueles que delas farão uso. Como breve comentário e provocação, dado que questões como essas precisam ser mais bem pensadas e amadurecidas em oportunidade pertinente, é interessante observar que o livro mencionado pela professora, é marcadamente caracterizado pela matematização e pela forte presença de gráficos como recurso de representação do conteúdo, não sendo observada nenhuma ocorrência para as categorias mais associadas à aplicação do conteúdo químico, como demonstra a *Figura 35*.

Figura 35. Distribuição das ilustrações entre as categorias para a obra de Mahan, 1970. Nessa figura, as categorias descritas na página 55 são apresentadas pelas siglas “Lab” (Laboratório e experimentação), “Ind” (Indústria e meios produtivos), “Gra” (Gráficos e diagramas), “Cot” (Cotidiano), “Mod” (Modelos), “Hist” (História da ciência), “Amo” (Amostras de origem animal, vegetal ou mineral), “Ana” (Analogias) e “Fis” (Conceitos de física).

A análise exploratória das obras publicadas ao longo do século XX evidenciou, portanto, diferentes ênfases na forma de apresentação do conteúdo químico, decorrentes

do compromisso com diferentes concepções de química ao longo do período estudado. Assim, passamos pela química enquanto ciência experimental (início do século XX), como ciência do invisível (ênfase nos princípios observada a partir dos anos 1950), como ciência de interfaces e de inegável influência tecnológica e, mais recentemente, como ciência da complexidade, como apresentado no prefácio da obra *Neoquímica*, de Nina Hall (2004) que, apesar de não constituir obra destinada ao ensino de Química Geral e nem ter sido publicada no período sob análise, apresenta algumas tendências para a percepção da ciência química em nossa sociedade.

A transição acima mencionada mostrou-se marcada por modificações nas estratégias de representação do conteúdo químico: das ilustrações sobre processos industriais, experimentos e aparatos laboratoriais passou-se à quase negligência dos aspectos descritivos em favor das representações de átomos e moléculas, entidades teórico-conceituais, cuja “realidade” vai sendo construída ao longo do século a partir de recursos gráficos cada vez mais elaborados. Chega-se à década de 1980 com enorme número de ilustrações, que, apesar de relacionadas a diferentes objetos (no sentido daquilo que se busca representar), distribuem-se majoritariamente entre fenômenos diretamente inacessíveis por nossos sentidos e aplicações da química em nosso cotidiano.

Os avanços nos recursos gráficos permitiram que as ilustrações incorporassem número cada vez maior de detalhes das teorias que as precedem. Esse fator, associado ao fato de que a construção e a divulgação do conhecimento químico ocorrem, marcadamente, por intermédio de tais representações, que buscam materialidade em imagens em papel, imagens virtualmente construídas, ou na utilização de modelos concretos como bolas e varetas, reforça o papel da **semiótica**, especialmente a de origem peirceana, como referencial teórico potencialmente relevante para a compreensão dessas observações.

Nesse contexto, o presente texto parte agora para a ampliação da análise das ilustrações presentes nos livros didáticos mencionados a partir do referencial dos estudos peirceanos, buscando maior compreensão acerca das estratégias de produção e comunicação do conhecimento químico.

3.3. Estratégias de comunicação visual do conhecimento químico – Abordagem fenomenológica e semiótica

Considerando que, nas situações de ensino e aprendizagem, o conhecimento químico e sua forma de produção assumem o papel de objeto, e que as ilustrações e textos que compõem os livros didáticos consistem em estratégias de comunicação, ou seja, signos, as relações icônicas, indexicais e simbólicas (relações signo-objeto) assumem especial relevância.

Considerando, ainda, o elevado número de ilustrações disponíveis nas 31 obras analisadas, a análise semiótica pormenorizada de sua totalidade mostra-se inviável. Dessa forma, apresenta-se a análise das nove categorias propostas, de maneira mais geral, seguida da apresentação de dois estudos de caso referentes a temas específicos abordados nos livros de Química Geral, a saber, “Estrutura dos sólidos” e “Soluções”. Tais temas foram escolhidos não apenas em função de sua importância no contexto do ensino de química e da considerável presença de imagens como recurso em sua explanação, mas, principalmente, por tratar-se de tópicos presentes em todos os livros didáticos selecionados para análise.

3.3.1. Análise semiótica preliminar

Na obra “Semiótica Aplicada”, Santaella (2002) propõe algumas questões que devem ser consideradas sempre que se objetiva iniciar uma análise do ponto de vista da semiótica. Boa parte delas já é inerente às próprias relações entre signo-objeto-interpretante propostas por Peirce, bem como às limitações a elas associadas. Apesar disso, acreditamos ser importante destacar alguns tópicos que serão considerados na análise que se propõe (Santaella, 2002, p. 41-43):

I. A análise semiótica deve seguir a própria lógica interna das relações do signo. Nesse contexto, antes da análise da relação entre signo e objeto, o próprio fundamento do signo (primeiridade) deve ser analisado;

II. Sendo a semiose um processo ininterrupto, regredimos infinitamente em direção ao objeto dinâmico e progredimos infinitamente em direção ao interpretante final. Toda análise semiótica precisa, assim, definir “cortes”, limites, atendendo a questões como “O que queremos revelar com a análise?”, “Que objetivo ela visa atingir?”;

III. Nenhum signo pode ser classificado de maneira taxativa, uma vez que iconicidade, indexicalidade e simbolicidade são aspectos sempre presentes, podendo ser apenas preponderantes em determinados processos sígnicos;

IV. Quando procedemos uma análise semiótica, assumimos o papel de um intérprete singular e, portanto, do interpretante dinâmico, que precisa sempre ser revisitado, por ser falível.

Buscando atender ao que foi exposto em I, retomemos as classificações para o signo em si mesmo (fundamento do signo) como definidas por Peirce:

Um **Quali-signo** é uma qualidade que é um Signo. Ele não pode realmente atuar como signo até que seja corporificado; mas a corporificação nada tem a ver com seu caráter de signo. Um **Sin-signo** (...) é uma coisa ou evento existente que é um Signo. Ele só pode sê-lo a partir de suas qualidades, de forma que envolve um quali-signo, ou ainda, diversos quali-signos (...) Um **Legi-signo** é uma lei que é um Signo. Essa lei é usualmente estabelecida pelos homens. Todo signo convencional é um legi-signo (mas nem sempre o contrário é verdadeiro). Ele não é um objeto particular, mas um tipo geral que, foi decidido, deve ser significativo. Todo legi-signo significa através de uma instância de sua aplicação, que deve ser denominada uma **Réplica** dele (...) A Réplica é um Sin-signo (...) Mas não Sin-signos comuns, como as ocorrências ordinárias consideradas significativas. Nem a Réplica seria significativa se não fosse pela lei que assim a torna (CP, 2. 244-246 – destaques dados pelo autor).

Isso posto, passemos à análise geral das nove categorias propostas para as ilustrações encontradas nos livros didáticos de Química Geral ao longo do século XX.

Categoria I - Laboratório e Experimentação

Nessa categoria foram incluídas ilustrações referentes a três subcategorias: (i) Aparatos e reagentes; (ii) Métodos de obtenção e preparação e (iii) Simulação ou demonstração de experimentos e resultados (ver *Figura 17*).

Na apresentação das referidas categorias, dificilmente é possível apresentar “ideias gerais”. Por exemplo, representa-se o método de preparação *do oxigênio*, e não um método de preparação geral; na descrição de uma balança, representa-se *uma balança em particular* e não todas as balanças; ao discutir espectros de absorção, é possível apresentar o espectro de um ou mais elementos *específicos*. Esse fato faz com que todas as ilustrações apresentadas nessa categoria sejam classificadas como *sin-signos*.

Na relação com seu objeto, intenciona-se colocar o leitor em contato com o *existente* representado, seja um aparato disponível no laboratório ou uma observação experimental. A figura do aparato de destilação ou do espectro de infravermelho possui relação existencial com seu objeto (a vidraria e o espectro reais), sendo assim considerados *índices* na segunda

tricotomia. Tal caráter indicial torna-se ainda mais proeminente nos livros mais modernos, em razão da melhoria e ampliação da utilização de recursos fotográficos e mesmo videográficos e de multimídia.

Chamando especial atenção à subcategoria “Simulação ou demonstração de experimentos e resultados”, é interessante notar, como será discutido com maior profundidade nos estudos de caso, que, enquanto no início do século as evidências experimentais atuavam como índices do *comportamento* dos materiais e substâncias, com o passar do tempo passaram a ser entendidas como índices de sua *estrutura e composição*. Nesse sentido, o comportamento passa a ser entendido como simples consequência de algo mais fundamental, e não mais como o conhecimento a ser buscado pela ciência química, de forma a assumir, nos livros didáticos, papel de mera exemplificação.

Do ponto de vista semiótico, tal modificação aparece como decorrência da prevista aproximação do objeto dinâmico. Retomando a citação de Santaella (2000), “O longo curso do tempo sempre demonstrará que aquilo que foi tomado como completo não passava de apenas um dos aspectos parciais do objeto” (p. 31).

As implicações de tal substituição aplicada ao objeto para o ensino e aprendizagem da ciência química, apesar de brevemente discutidas ao longo desse texto, serão retomadas posteriormente.

Categoria II – Indústria e Meios produtivos

Nessa segunda categoria foram incluídos esquemas e fotos associados a aparelhagens, processos ou produtos, como exemplificado na *Figura 18*.

Apesar de a relação entre as fotografias e seus objetos possuírem maior caráter *indicial* e os esquemas (18c, por exemplo) caráter *icônico* mais pronunciado, ambos os signos possuem conexão física com o referido objeto, sendo também considerados *sin-signos*.

O maior caráter icônico atribuído aos esquemas dá-se, cabe destacar, na perspectiva não de um ícone genuíno (um meramente possível, ainda não relativo a um objeto), mas de um *hipoícone* ou *signo icônico*, ou seja, um signo que já se apresenta como tal, apesar de não participar de uma tríade genuína, uma vez que a mesma é “regida por relações de comparação e cuja referência ao objeto se dá por semelhança” (Santaella, 2000, p. 111). Dentre os hipoícones, os esquemas mencionados representam aspectos dos meios produtivos por similaridade nas relações internas e não mais, exclusivamente, na aparência. A esse tipo de signo, Peirce denominou *diagrama*³⁴.

Cabe, nesse momento, breve ampliação dos tipos de signos icônicos propostos por Peirce.

De acordo com Stjernfelt (2000), o próprio Peirce admitiu que definir um ícone com base exclusivamente em critérios de semelhança abriria caminho aos perigos associados a esse conceito, como sua redução à ideia de identidade e a falta de critérios para julgar dois fenômenos como similares. É importante destacar, porém, que o conceito de similaridade adotado por Peirce é *operacional*, ou seja, “não importa se o signo parece semelhante; o teste decisivo para sua iconicidade é a possibilidade de sua manipulação para obtenção de novas informações sobre seu objeto” (Stjernfelt, 2000, p. 358).

Nesse contexto, o hipoícone pode ser uma *imagem*, um *diagrama* ou uma *metáfora*. As *imagens* representam segundo qualidades primeiras (forma, cor, textura, som, etc.) que entram em relações de semelhança e comparação, como uma pintura, por exemplo. Os diagramas, conforme mencionado, não mais se relacionam com a aparência, mas com relações internas, ou seja, “a semelhança instala-se em outro nível, o das relações entre as partes do signo e as relações entre as partes do objeto a que o signo se refere” (Santaella,

³⁴ Para mais informações sobre outras modalidades de hipoícones, ver CP 2.274-282 e Santaella (2000, p. 109-120). Para maior aprofundamento na questão dos diagramas, ver Stjernfelt (2007).

2000, p. 120). Finalmente, as *metáforas* implicam paralelismo com algo diverso do signo, cuja interpretação depende de considerável esforço mental e acionamento de significados, de forma que se associa à terceiridade (Santaella, 2000).

Apesar de a classificação dos signos icônicos não consistir objeto principal do presente trabalho, cabe destacar que a maior parte dos signos predominantemente icônicos a serem discutidos nas seções seguintes tratam de diagramas. É o caso dos “gráficos e diagramas”, a serem discutidos no tópico a seguir, dos “modelos” e das imagens categorizadas como “conceitos de física”, por exemplo. Tal presença dos diagramas fica evidente se recorrermos, mais uma vez, às considerações de Stjernfelt (2000): “O diagrama é um esboço de seu objeto em termos das relações entre suas partes, mas o que o torna apto ao raciocínio, ao experimento, é o fato de ser construído a partir de relações racionais” (Stjernfelt, 2000, p. 363).

A representação de uma molécula de água através de um modelo de bola e vareta, por exemplo, leva em consideração relações internas como raio atômico e ângulo de ligação. Trata-se de um ícone, pois reflete a teoria que a precede, semelhança reconhecida através de relações internas racionalmente construídas.

Categoria III – Gráficos e Diagramas³⁵

Foram incluídos nessa categoria os gráficos cartesianos, diagramas descritivos e diagramas de energia (*Figura 19*).

Lançando mão da definição de diagrama acima apresentada, todos os representantes dessa categoria comportam-se como *hipoícones diagramáticos* na relação com seu objeto.

³⁵ Segundo o Dicionário Larousse Cultural (1992), diagrama refere-se à “representação de um objeto ou fenômeno qualquer por meio de linhas”. Cabe destacar que, na denominação dessa categoria, o termo “diagrama” foi utilizado segundo essa definição e não segundo a definição peirceana.

Considerando, porém, o fundamento do signo, algumas considerações devem ser apresentadas.

Diagramas descritivos (ver *Figura 19c*, por exemplo), de menor importância para o presente trabalho, uma vez que geralmente são empregados como instrumento de resumo ou de facilitação do conteúdo *específico*, podem ser considerados ***sin-signos icônicos***, dado que o objeto está ali representado por intermédio de algumas qualidades.

Diagramas cartesianos (*Figuras 19a e 19b*) ou diagramas de energia (*Figura 19d*), no entanto, constituem *réplicas de uma lei geral* que se intenta representar assumindo, nesse contexto, ação fundamental de *legi-signos*. No caso da representação da pressão de vapor de diferentes substâncias em função da temperatura, cada curva (cuja representação gráfica atua como *ícone* do experimento em si) é uma réplica (sin-signo) de uma lei geral. Nas palavras de Peirce:

[Legi-signo icônico] é todo tipo ou lei geral, na medida em que exige que cada um de seus casos corporifique uma qualidade definida que o torne adequado para trazer à mente a ideia de um objeto semelhante (...) Sendo um Legi-signo, seu modo de ser é o de governar Réplicas singulares, cada uma das quais será um Sin-signo icônico de tipo especial (CP 2. 258).

Um ponto importante acerca dos diagramas, especialmente dos casos em que gráficos cartesianos representam leis gerais, merece ser destacado. Do ponto de vista semiótico, e considerando que o objeto de uma curva pressão de vapor vs. temperatura é o experimento em si, classificamos as referidas curvas como *legi-signos icônicos*. Se considerarmos, porém, a transição, observada ao longo do século XX, da ênfase no *comportamento para a estrutura* da matéria, temos que os gráficos passam a atuar, mediados pelo discurso empregado pelos autores de livros didáticos, como *legi-signos indiciais*, cujo objeto é a estrutura da matéria.

Seguindo com o exemplo do conceito “pressão de vapor”, e já em parte adiantando o que será apresentado nos estudos de caso, nas obras do início do século sua apresentação dava-se sob o aspecto empírico, o mesmo valendo para a temperatura de ebulição. Observemos a discussão do tema por Deming (1939):

A pressão de vapor de todo líquido aumenta rapidamente com a temperatura [ver Figura 36]. No final, se o líquido estiver em um recipiente aberto, a pressão de vapor iguala-se à pressão externa (...) A evaporação, a partir desse momento, ao invés de ocorrer paulatinamente na superfície do líquido, toma lugar em seu interior. Bolhas de vapor formadas no corpo do líquido sobem rapidamente para sua superfície, e dizemos que o líquido entra em ebulição (Deming, 1939, p. 116).

Esse texto é complementado pelo gráfico reproduzido na *Figura 36*, que atua como ícone da descrição experimental realizada.

Figura 36. Curvas de pressão de vapor do éter, álcool e água (Deming, 1939).

Se tomarmos como contraexemplo a abordagem proposta por Atkins e Jones (2001) para o mesmo tema, nota-se que o gráfico assume papel distinto, principalmente em razão da organização textual.

O tópico “A variação da pressão de vapor com a temperatura”, inserido no capítulo “Equilíbrio Físico”, inicia com a seguinte afirmação:

A pressão de vapor de um líquido é uma *indicação* de quão rapidamente as moléculas em um líquido podem escapar das forças que as mantêm juntas. Mais energia está disponível para essa fuga em temperaturas mais altas que a baixas, assim podemos esperar que a pressão de vapor de um líquido aumente com o aumento da temperatura. A Figura 8.4 [ver *Figura 37*] mostra a dependência da pressão de vapor de vários líquidos com a temperatura, e *vemos em cada caso o aumento de pressão de vapor como esperamos* (Atkins e Jones, 2001, p. 431 – destaques nossos).

Figura 37. Variação da pressão de vapor de líquidos com a temperatura (Atkins e Jones, 2001).

No exemplo apresentado, é possível notar que as informações fornecidas pelo gráfico (a rigor, *ícone do comportamento da matéria*), são apresentadas como consequência da estrutura molecular sendo, assim, por ela determinadas. O caráter *indexical* dessa “nova” relação evidencia postura ontologicamente realista no que se refere às entidades químicas e caracteriza desvio das tríades propostas nas *Figuras 12 e 16*, segundo as quais, do ponto de vista pedagógico, os gráficos atuam como índices do comportamento decorrente de interações impostas à matéria, para o qual teorias e modelos moleculares são apenas interpretantes possíveis.

Tal “desvio” pode ser mais bem compreendido a partir da análise das figuras abaixo. Na *Figura 38a* retoma-se a tríade proposta na *Figura 12*, de forma que as setas pontilhadas buscam destacar que **a única forma pela qual o intérprete pode acessar a realidade (objeto dinâmico) é a mediação por um signo**. É nesse contexto que afirmamos que, em uma situação de ensino e aprendizagem, o gráfico cartesiano constitui **índice do comportamento**

da matéria. O contato com esse signo indicial, associado a outros signos (estratégias de comunicação) apresentados ao longo do processo educativo e a experiências anteriores do estudante podem levar, **num processo de interpretação orientado pelo professor**, à consolidação de interpretantes lógicos mais ou menos próximos dos construtos científicos que se deseja comunicar.

Quando, porém, em contraposição ao processo de mediação acima descrito, um gráfico cartesiano é tomado como confirmação de uma estrutura molecular já conhecida e assumida como existente, constrói-se relação direta (representada pela Figura 38b) que não corresponde ao processo de elaboração de conceitos científicos, e que negligencia o papel dos modelos como construções aproximadas que auxiliam a compreensão de uma realidade inacessível em sua completude. Os construtos científicos assumem, assim, papel de objeto que se pretende comunicar e o potencial de geração de interpretantes é reduzido, uma vez que o gráfico assume papel de mera constatação de comportamento já esperado.

Figura 38. (a) Semiose na elaboração de construtos científicos. Nesse processo, a elaboração de construções teóricas só é possível se mediada por evidências (signos) decorrentes dos processos de interação com a Natureza; **(b)** "Desvio" da proposta semiótica apresentada, no sentido de atribuir "realidade" aos construtos científicos. Nessa perspectiva, a ideia de "modelo" torna-se difusa, bem como o papel das evidências experimentais.

Outros exemplos para a questão acima colocada serão discutidos adiante, nos estudos de caso.

Categorias IV / VI / VII – Cotidiano / História da Ciência / Amostras de origem animal, vegetal e mineral

As categorias IV, VI e VII foram consideradas em conjunto, uma vez que defendemos participarem de processos semióticos semelhantes.

Do ponto de vista do fundamento do signo e de sua relação com o objeto, a classificação mostra-se bastante evidente, dado que imagens relacionadas ao cotidiano, história da ciência e fotos/esquemas de espécies vegetais ou fragmentos minerais referem-se a existentes singulares sendo, portanto, *sin-signos indiciais*.

No que se refere às categorias IV e VII, sua presença nos livros didáticos parece estar bastante associada, como sugerem os trechos apresentados no tópico 3.2, com o caráter prático, aplicado e mesmo utilitário da ciência química do início do século XX, e, nas últimas duas décadas do século, com questões didáticas, especialmente voltadas à conquista do maior interesse e compreensão dos conceitos químicos por parte dos estudantes.

Apesar de tratar-se de tema que merece significativo aprofundamento, o qual não caberá ao presente trabalho, é notória a aproximação que pode ser estabelecida, independente do momento do século sob investigação, com a tricotomia dos interpretantes proposta por Peirce em 1907 e apresentada brevemente no tópico 2.3.1. Ampliando o que foi apresentado na referida ocasião, temos que:

O problema do que seja o “significado” de um conceito intelectual só pode ser resolvido através do estudo dos interpretantes, ou dos próprios efeitos significados, dos signos. Estes foram identificados como pertencentes a três classes gerais com algumas subdivisões importantes. *O primeiro efeito significado de um signo é o sentimento provocado por ele. Quase sempre há um sentimento que interpretamos como prova de que compreendemos o efeito de um signo, embora seu fundamento de verdade seja frequentemente muito leve.* Esse “interpretante emocional”, como o denomino, pode corresponder a muito mais que sentimento de reconhecimento; e em alguns casos, ele pode ser o único efeito significado que o signo produz [...] Se um signo produz qualquer outro efeito significado, o fará através da mediação de um interpretante emocional, e envolverá sempre um esforço. Denomino-o “interpretante energético”. O esforço pode ser muscular [...] mas é geralmente [...] um esforço mental. *Ele nunca pode ser o significado de um conceito intelectual, desde que é um ato singular [enquanto] o conceito possui natureza geral.* Mas que outro tipo de efeito pode ocorrer? [...] Vou chamá-lo “interpretante lógico” [...] uma mudança de hábito; entendendo por mudança de hábito uma modificação das tendências de uma pessoa para a ação, resultante de experiências prévias ou de esforços ou atos anteriores, ou de um complexo de ambos (CP 4.475-476 - destaques nossos).

A apresentação de ilustrações referentes ao cotidiano ou espécimes de origem animal, vegetal ou mineral podem ser, nesse contexto, associadas aos interpretantes emocional e energético, uma vez que intentam despertar simples relações de reconhecimento ou exemplos individuais. Sua intenção primeira seria reforçar ou facilitar a introdução de conceitos gerais, mais associados aos interpretantes lógicos, entendidos como apreensão intelectual do significado de um signo.

Cabe destacar, porém, que

[...] não se deve supor que sob toda apresentação de um signo capaz de produzir um interpretante lógico tal interpretante deva efetivamente ser produzido. A ocasião, para tal, pode chegar ou muito cedo ou muito tarde. Se chegar muito cedo, a semiose não será levada muito longe, de modo que os outros interpretantes serão suficientes para as funções em que o signo está sendo usado. Por outro lado, a ocasião virá muito tarde se o intérprete já estiver familiarizado com o interpretante lógico, e então o interpretante virá à mente por um processo que não fornece nenhuma insinuação sobre o modo como o interpretante foi originalmente produzido (Santaella, 2000, p. 86).

Assim, temos que a tentativa de maior aproximação do conhecimento químico à realidade dos estudantes, estratégia cuja presença mostrou-se muito significativa nas obras analisadas, destacadamente a partir do início dos anos 1980, não é garantia de melhor desempenho no que refere à capacidade de explicação e previsão de fenômenos possibilitadas pelo domínio efetivo de conceitos gerais. Trata-se de abordagem semiótica para questão já discutida por Souza e Cardoso em trabalho publicado em 2010.

Finalmente, a categoria VI, História da Ciência, também foi considerada em conjunto com as anteriormente mencionadas por também mostrar-se vinculada não apenas à importância da ciência química e de seus processos, mas à legitimidade do conhecimento produzido. O efetivo papel desempenhado por possíveis subcategorias associadas a ela depende, assim como será discutido para a categoria “Analogias”, de aprofundamento na terceira tricotomia dos signos, a dos interpretantes.

Categoria V – Modelos

Três subcategorias foram consideradas sob a designação “Modelos”: (i) modelos cristalográficos (ver *Figura 21a*); (ii) modelos teórico-conceituais envolvendo partículas (*Figuras 21b e 21c*); (iii) modelos teórico-conceituais não envolvendo partículas (*Figura 21d*).

Os modelos cristalográficos, principais representantes dessa categoria nas obras publicadas no início do século XX, se referem à representação dos hábitos cristalinos possíveis. Por consistirem em generalizações de réplicas (observações de cristais particulares), consideramos tratar-se de *legi-signos*. Como, porém, os referidos modelos atuam como signos em função da qualidade (ângulos entre as arestas, por exemplo) que

compartilham com os objetos que os determinam, classificaremos os entes componentes dessa primeira subcategoria como *legi-signos icônicos*³⁶.

Quando passamos, porém, à análise das ilustrações que se propõem a significar relações teóricas e conceituais (estruturais e dinâmicas), passamos a situação distinta.

A demonstração, seguindo estratégias visuais, de teorias e conceitos em química dá-se, geralmente, a partir da apresentação de situações particulares que serão generalizadas à medida que se multiplicam. Ao trabalhar, por exemplo, a ideia de ligação iônica e, mais especificamente, a de retículo cristalino, uma substância em particular (geralmente o cloreto de sódio, cabe destacar!) é escolhida para constituir a representação imagética. Espera-se que, a partir dela, o estudante seja capaz de generalizar os termos comuns para toda e qualquer substância iônica.

Temos, assim, que o retículo cristalino do cloreto de sódio (ou a molécula de metano como exemplo de geometria tetraédrica, ou a água como exemplo de substância polar) atuam como *sin-signos* cuja relação com o objeto é de natureza *icônica*, uma vez que se baseia em qualidades e similaridades (raio atômico, distância de ligação, arranjo). Cabe retomar que assumimos como objeto do signo *a teoria que precede a representação e não a molécula em si*, enquanto existente. Essa última opção estaria associada a um compromisso ontológico realista e negligência do papel dos modelos no processo de construção do conhecimento científico, posturas desejamos questionar nesse trabalho.

Cabe diferenciar, ainda, os modelos que lançam mão de partículas e os que não o fazem. Ainda que entendamos que os dois devam ser classificados como *sin-signos icônicos*,

³⁶ Assim como em qualquer uma das classificações propostas, o caráter icônico não ocorre isoladamente, mas predominantemente. Isso porque, inquestionavelmente, o modelo cristalográfico, produzido a partir de uma coleção de cristais (existentes), inevitavelmente possui caráter indexical e simbólico (conjunto de linhas ao qual se atribui significado).

a inclusão da representação de partículas remete a inclusão de mais elementos da teoria (objeto) que precede o signo e, portanto, a um grau de iconicidade maior.

Categoria VIII – Analogias

Em revisão elaborada por Francisco Junior (2010), as analogias são definidas por diferentes autores segundo aspectos ligeiramente diversos, ainda que complementares. Assim, são consideradas *expressão de comparação e realce de similaridades*, tipos de comparação em que as relações entre os conceitos são anunciadas e forma de pensar através da qual se pode conhecer um fenômeno desconhecido a partir do estabelecimento de correspondências com o fenômeno já conhecido (Francisco Junior, 2010).

Independente da definição adotada, a função de comparação e correspondência só é possível a partir do momento que o signo utilizado como analogia é reconhecido como tal a partir de determinadas qualidades (aqui entendidas como mera possibilidade lógica) que, por semelhança, podem ser associadas a determinados comportamentos da matéria ou a situações específicas. As analogias, portanto, podem ser consideradas *quali-signos icônicos*, definidos por Peirce como

[...] qualidade qualquer, na medida em que for um signo. Dado que uma qualidade é tudo aquilo que positivamente é em si mesma, uma qualidade só pode denotar um objeto por meio de algum ingrediente ou similaridade comum, de tal forma que um Quali-signo é necessariamente um Ícone (CP 2.254).

Tomemos como exemplo a analogia proposta por Kotz e Treichell (1998) e apresentada na *Figura 24c*. Nela, os conceitos envolvidos no estudo das relações estequiométricas como reagentes (hambúrguer, pão e queijo), produtos (*cheeseburger*) e noções como consumo, formação de produtos e excesso são exemplificados a partir da montagem de *cheeseburguers*. As qualidades compartilhadas nesse caso referem-se a um

processo, de forma que as etapas de consumo e excesso de ingredientes, bem com a obtenção do lanche assemelham-se ao consumo e excesso de reagentes e obtenção de produtos.

Considerando que, frente ao intérprete, as analogias buscam extrair “tão-somente o caráter, o potencial representativo em nível de qualidade, de algo e fazem paralelo com alguma coisa diversa” (Santaella, 2000, p. 120), temos que o caráter icônico das analogias dá-se predominantemente em seu aspecto metafórico.

Processo semelhante ocorre na analogia proposta por Holmes (1946) e apresentada na *Figura 24b*. Nela, o equilíbrio químico é comparado ao equilíbrio financeiro, que compartilham as qualidades de dinamicidade e reversibilidade. Cabe destacar, porém, que a analogia sugere que as mesmas moedas participam dos processos de “entrada e saída”, ou seja, não há modificação na estrutura física das moedas, ainda que possam se tratar de moedas diferentes. No estado de equilíbrio químico, porém, tem-se a coexistência e interconversão de substâncias/espécies/estruturas distintas.

O exemplo acima permite destacar a importância do aprofundamento nas pesquisas sobre a compreensão dos estudantes acerca das analogias, principalmente se considerarmos que, para além das analogias propostas por professores e livros didáticos, os estudantes frequentemente tentam compreender fenômenos através do emprego de analogias com situações familiares a eles (Duit, 1991). Nesse contexto Duit (1991) destaca como vantagens do uso das analogias no ensino a motivação, facilitação da apropriação de conceitos abstratos por aproximações com conceitos mais concretos e a possibilidade que se abre ao professor de reconhecimento de concepções prévias dos estudantes. Como desvantagens, porém, destacam-se a possibilidade de compreensão inadequada em decorrência do estabelecimento superficial ou mesmo equivocado de paralelos e mesmo o não

reconhecimento dos limites das analogias, que podem ser levadas “longe demais” (Justi e Monteiro, 2000).

Apesar dos objetivos do presente trabalho estarem mais relacionados à caracterização geral das estratégias de comunicação empregadas por autores de livros didáticos em associação com concepções filosóficas da química a ela associadas e, por esse motivo, as atenções estarem mais voltadas para as relações entre signo e objeto, as analogias mostram-se situações com grande potencialidade de análise semiótica mais aprofundada, *especialmente no que se refere aos interpretantes gerados*. Se considerados os diversos aspectos descritos acerca do uso de analogias em sala de aula, a semiótica pode trazer importantes contribuições a essa área da pesquisa em educação em ciências³⁷.

Categoria IX – Conceitos de Física

A *Figura 25* traz exemplos de ilustrações categorizadas como conceitos de física, em distinção às situações que tratam de ideias relacionadas à físico-química enquanto área do conhecimento distinta³⁸.

Os exemplos apresentados corporificam réplicas de *legi-signos*, ou seja, signos que são leis estabelecidas pelos seres humanos, nesse caso em particular, por comunidade científica específica. Considerando, ainda, que a função das referidas ilustrações como signos depende fundamentalmente da lei ou regra que as determinam, temos que se tratam de *símbolos*. Deve-se acrescentar a isso que o símbolo é “[...] apenas uma mediação, um meio geral para o desenvolvimento de um interpretante [...] Seu caráter está na sua generalidade e sua função é crescer nos interpretantes que gerará” (Santaella, 2000, p. 132).

³⁷ Para revisão acerca dos principais temas relacionados ao uso de analogias em sala de aula, ver Francisco Junior (2010).

³⁸ Para mais detalhes sobre essa distinção ver Schummer (1998).

A citação acima apresentada ganha especial destaque se retomarmos em parte as discussões acerca das posturas reducionistas desenvolvidas no início do texto. Em já mencionado artigo de 1998, Schummer defende que:

O “interesse químico”, por um lado, volta-se à diversidade das substâncias químicas – como uma herança da história natural. A prática laboratorial dos químicos elevou o número de substâncias químicas para mais de 16 milhões, e sua preocupação volta-se especialmente a variedades de propriedades dos materiais. Por outro lado, o “interesse físico” volta-se às propriedades “universais” e leis abstraídas a partir das peculiaridades de certos objetos materiais – uma herança da filosofia natural (Schummer, 1998, p. 138 – destaques dados pelo autor).

A análise ora proposta corrobora e fundamenta, do ponto de vista filosófico, e não apenas empírico, a proposta de Schummer. Enquanto as estratégias de comunicação visual em física parecem³⁹ voltar-se essencialmente aos legi-signos simbólicos, cujas situações singulares (sin-signos / réplicas) devem ser reconhecidas por aqueles que se dedicam a compreender seu significado, as representações em química voltam-se fundamentalmente aos casos particulares, sin-signos, que, multiplicados, visam a generalização (abstração, “pensamento químico” – Souza e Cardoso, 2007) durante o processo de ensino e aprendizagem.

Tal distinção mostra-se como consequência não apenas dos construtos científicos gerados por cada uma das mencionadas ciências da natureza, mas dos objetos a serem comunicados em suas salas de aula. Como, no caso da química, não é possível representar uma molécula ou uma ligação química “em geral”, sem prejuízo da compreensão conceitual, os sin-signos empregados concentram-se, principalmente, entre indexicais e icônicos. O que se espera ao longo do processo educativo e que, como sugere a literatura, nem sempre é observado, é a substituição das relações icônicas e indexicais por relações simbólicas, mais

³⁹ Afirmação mais categórica acerca desse aspecto dependeria, essencialmente, de análise dos livros didáticos de física.

gerais, abstratas, e características das proposições científicas. A dificuldade de construção de relações simbólicas foi evidenciada, por exemplo, ao se discutir as representações do processo de dissolução por estudantes de pós-graduação em Química (ver *Figura 6*).

Esses e outros aspectos serão retomados nos estudos de caso que seguem.

3.3.2. Primeiro estudo de caso – Estrutura dos sólidos

Do ponto de vista histórico, o estudo dos cristais desenvolveu-se de forma mais significativa a partir do final do século XVIII e início do século XIX (Dana, 1969), período em que podem ser destacados os estudos René Just Haüy (1743 – 1822) sobre a clivagem da calcita, que levaram à proposta de existência de unidades estruturais nos cristais, a invenção do goniômetro de reflexão⁴⁰ por William Hyde Wollaston (1766 – 1828) e do microscópio de luz polarizada por William Nicol (1770 – 1851), bem como os quatorze retículos espaciais propostos em 1848 por Auguste Bravais (1811 – 1863).

É inegável que os avanços em cristalografia, como os nomes e feitos mencionados sugerem, estão intimamente relacionados ao desenvolvimento de técnicas de análise cada vez mais sofisticadas, como a absorção de radiação infravermelha, cuja aplicação à análise de substâncias cristalinas foi intensa na primeira metade do século XIX (Hudson, 1994), e a difração de raios X, popularizada em 1912, com os experimentos de Walter Friedrich (1883 – 1968) e Paul Knipping (1883 – 1935) e, posteriormente, de William Henry Bragg (1862 – 1942) e William Lawrence Bragg (1890–1971), que proporcionaram franca expansão dos conhecimentos acerca da estrutura tridimensional dos sólidos cristalinos. Cabe destacar que o maior acesso a computadores ocorrido nos anos 1950 expandiu ainda mais as possibilidades de aplicação das referidas técnicas instrumentais (Hudson, 1994). O advento

⁴⁰ Instrumento de medição mais precisa dos ângulos entre as faces de um cristal.

da microsonda eletrônica (anos 1960), que permite análises *in situ* em grãos com dimensões da ordem de micrometros, e outras tecnologias, como o Microscópio Eletrônico de Transmissão (TEM) e o Microscópio Eletrônico de Transmissão de alta resolução (HRTEM), têm contribuído não só para a elucidação de estruturas, mas também na proposição de novos materiais (Klein, 2003).

Como não poderia deixar de ser, os avanços nas técnicas de análise acima mencionados, e a consequente ampliação dos conhecimentos acerca da estrutura dos sólidos cristalinos, foram incorporadas pelas obras didáticas. Da caracterização dos hábitos cristalinos, limitada ao aspecto macroscópico (*Figura 39*), passaram a ser representados átomos que, arranjados em redes cristalinas bem organizadas, permitem explicar a forma externa dos cristais, o fenômeno de clivagem e as propriedades ópticas (ver *Figura 40*).

Figura 39. Formas e sistemas cristalinos **(a)** Sistema ortorrômbico; **(b)** Prisma hexagonal; **(c)** Romboedro (Teixeira, 1904).

Figura 40. Rede cristalina do cloreto de sódio (Bavink, 1928).

Do ponto de vista semiótico, ainda que as representações dos três sistemas cristalinos apresentados na *Figura 39* tenham caráter simbólico, pois o significado atribuído a certo conjunto e disposição de linhas é convencional, também é indicial, pois possuem um existente como objeto (certo cristal ou conjunto de cristais específico) e significativamente icônico, pois guardam algum nível de semelhança com o sólido cristalino em si, sugerindo na mente interpretadora determinada ideia de material.

Cabe destacar que, apesar da mencionada iconicidade, as obras do início do século apresentaram proeminente indexicalidade, materializada nas várias representações de fatos experimentais (na própria obra de Teixeira, da qual foi extraída a *Figura 39*, todas as outras ilustrações presentes no livro remetem a aparatos experimentais). O que chama a atenção, porém, é que a busca por representações cada vez mais icônicas parece ser uma marca das estratégias de comunicação em química. Tal busca é evidenciada, por exemplo, na *Figura 40*, obviamente possibilitada por novas tecnologias disponíveis, como será explicitado a seguir.

O avanço das técnicas instrumentais permitiu associar cada vez mais os sinais analíticos obtidos com as estruturas macro e (sub)microscópicas propostas, a ponto de poder ser traçado o “caminho” do instrumento à estrutura. A *Figura 41* apresenta sequência de ilustrações referentes à estrutura do cloreto de sódio presente na obra de Sienko e Plane (1968). O esclarecimento dos princípios envolvidos na análise por difração de raios X, objetivo das figuras 41a e 41c, auxilia na construção da realidade da estrutura proposta em 41d e do modelo em 41e, mediada pela evidência obtida em 41b.

Figura 41. (a) Determinação de estrutura por meio de raios X; (b) Diagrama de raios X do NaCl; (c) Modelo de dois átomos para mostrar a difração de raios X; (d) Retículo cristalino do NaCl; (e) Modelo do NaCl (Sienko e Plane, 1968).

No exemplo acima apresentado, é evidente o uso de signos que migram da predominância indexical à icônica, sempre imbuídos de elementos simbólicos, no sentido de construir a “realidade” da estrutura proposta para o sal.

Outra estratégia empregada na construção da realidade atômico-molecular foi muito facilitada pelos avanços na tecnologia de produção de ilustrações gráficas. A Figura 42 apresenta uma foto de cristais de cloreto de sódio obtida por micrografia (Figura 42b) e, simultaneamente, uma representação para a organização dos íons no retículo cristalino (Figura 42a). À estrutura cristalina em nível atômico associa-se o que é percebido diretamente por nossos sentidos, no melhor estilo “você não está vendo, mas está lá”. Cabe destacar que tal associação de imagens aumenta muito a relação (ou sensação?) de

semelhança, aproximação ou equivalência entre o modelo proposto em 42a e a realidade sensível (cabe destacar, instrumentalmente mediada) apresentada em 42b, ou seja, as ilustrações ganham cada vez mais em iconicidade.

Figura 42. (a) Bilhões de células unitárias são empilhadas para criar a estrutura do cristal de cloreto de sódio; **(b)** O arranjo ordenado de íons cria as faces do cristal, como mostrado nessa micrografia do cloreto de sódio (Atkins e Jones, 2001).

De maneira semelhante, também entendemos como estratégias de construção da realidade ontológica das entidades químicas a abordagem de um mesmo fenômeno sob diferentes aspectos. A *Figura 43*, por exemplo, remete ao fenômeno de a água apresentar menor densidade no estado sólido, se comparada a seu estado líquido. Os autores propõem sequência na qual, primeiramente, é apresentado arranjo proposto para as moléculas de água na constituição do gelo (43a). A estrutura é seguida por um gráfico cartesiano que busca mostrar que a água no estado sólido possui menor densidade que no estado líquido (43b). Finalmente é apresentada a evidência experimental, através de uma fotografia na qual água e benzeno são colocados em contato com seus equivalentes no estado líquido (43c).

Figura 43. (a) O gelo é formado por moléculas de água que são mantidas unidas por ligações de hidrogênio em uma estrutura relativamente aberta; (b) Variação da densidade da água e do tetraclorometano com a temperatura; (c) Como resultado de sua estrutura aberta, o gelo é menos denso que água e flutua nela (esquerda). O benzeno sólido é mais denso que o benzeno líquido e o benzeno congelado afunda no benzeno líquido (direita) (Atkins e Jones, 2001) .

Se tomarmos como referência a sequência semiótica proposta pela *Figura 12*, teríamos que o gráfico (43b) deveria atuar como índice do comportamento da matéria (43c), sendo a estrutura apresentada em 43a uma possível explicação para a observação. Em outras palavras, e trazendo a discussão para o contexto do livro didático propriamente dito, o fenômeno, em si, é **apresentado** através de uma foto, é **descrito** por intermédio de um gráfico cartesiano e **explicado** via modelo de partículas. A *Figura 44* ilustra o processo semiótico envolvido nesse processo:

Figura 44. Interpretação semiótica para a relação entre realidade, evidências experimentais e modelos teóricos. Cabe ressaltar que o interpretante (estrutura molecular do gelo) é consequência de uma série de semioses que não foram representadas na figura.

É interessante notar, ainda que tal discussão careça de embasamento mais profundo nos referenciais de análise do discurso, que a ordem observação-descrição-explicação foi invertida no exemplo proposto, o que poderia sugerir a interpretação: se a estrutura da água no estado sólido é como representado em 43a, é esperado que o fenômeno observado em 43c ocorra. Em outras palavras, o signo icônico (que possui certa teoria de ligações químicas e estrutura como objeto) é interpretado com tal nível de aplicabilidade no mundo sensível que permite prever a existência de certos comportamentos. Mais uma vez, como sugerido na *Figura 38*, os construtos científicos assumem papel de objeto, cuja existência real é pressuposta, e o potencial de geração de interpretantes é reduzido, uma vez que o gráfico cartesiano e a evidência experimental assumem papel de mera constatação de comportamento já esperado.

Nesse contexto, por mais simbólicas que as representações em químicas pareçam ser (e são!), no sentido de que somente os “iniciados” podem compreendê-las, o avanço das técnicas proporcionou a criação de signos cada vez mais considerados como semelhantes, se

não ao objeto “real” (objeto dinâmico, na nomenclatura peirceana), ao menos com as teorias que servem de suporte para sua construção, o que acabou por pronunciar seu caráter icônico. Tal caráter fica ainda mais evidente se apresentadas as considerações de Frederik Stjernfelt (2000) ao afirmar que as similaridades de qualidades não atestam, por si só, o caráter icônico, mas sim a possibilidade de manipulação do signo para obtenção de novas informações sobre o objeto (Stjernfelt, 2000).

3.3.3. Segundo estudo de caso – Soluções

Considerando o tema “soluções”, conferimos especial interesse a alguns tópicos, dadas as estratégias de comunicação construídas ao longo de seu desenvolvimento. É o caso do *processo de dissolução*, da comparação entre *substâncias eletrolíticas e não eletrolíticas* e das *propriedades coligativas*. Somam-se a esses tópicos, outros objetos relacionados ao assunto como a própria definição e classificações das soluções, sua forma de preparo, a construção de curvas de solubilidade, etc.

Dessa forma, a busca pelas estratégias de abordagem do tema “soluções” nem sempre foi encerrada na análise de um capítulo em específico, de forma que foi necessário realizar “varredura” de outros temas tratados nas obras didáticas. Assim, tópicos associados às soluções foram encontrados ao longo de discussões sobre estados da matéria, massas moleculares, íons e elétrons, entre outros.

Visando breve contextualização histórica, as tabelas de solubilidade aparentemente foram publicadas pela primeira vez em 1750, por Eller, sendo que a determinação da solubilidade de diferentes sais em água a diferentes temperaturas e a construção de curvas de solubilidade deu-se em 1819, por Gay-Lussac (Partington, 1964).

Em contraposição à interpretação física das soluções, especialmente da dissolução, a teoria química das soluções encontrava razoável e crescente número de defensores a partir da segunda metade do século XIX. É o caso de Griffin, Sterry Hunt, Berthelot, Mendeleiev e Armstrong, sendo que este último sugeriu, em 1886, que *o átomo de oxigênio da molécula de água força o átomo de cloro do cloreto de hidrogênio* em uma solução e que, na eletrólise, essa força, somada à força eletromotriz, pode causar o rompimento da molécula (Partington, 1964), afirmação que parece corroborar a teoria da dissociação eletrolítica proposta por Arrhenius em 1887⁴¹.

Ao mencionar a teoria de Arrhenius, cabe destacar que a mesma foi construída com base em distintas observações experimentais, entre elas a observação da elevação da pressão osmótica e abaixamento da temperatura de congelamento de soluções de solutos não voláteis.

Os primeiros experimentos relacionados à temperatura de congelamento de soluções salinas foram feitos por Richard Watson em 1771, que observou que “para sais do mesmo tipo, a resistência ao congelamento é diretamente proporcional à quantidade de sal dissolvida”. Nos anos seguintes, diferentes observações como o efeito aditivo dessas substâncias e o surpreendente abaixamento de temperatura de congelamento causado por algumas delas (Blagden), bem como a constatação empírica da proporcionalidade entre abaixamento da temperatura de congelamento e da pressão de vapor e elevação da temperatura de ebulição e a possibilidade de cálculo das massas moleculares de substâncias a partir dos efeitos crioscópicos e ebulioscópicos por elas provocados (Raoult), somadas à

⁴¹ É importante destacar que outras propostas, anteriores à teoria de Arrhenius, foram elaboradas na tentativa de explicar a condução de corrente por soluções de eletrólitos. É possível que as contribuições de Theodor von Grotthuss (1785-1822) figurem entre as mais importantes nesse processo sendo, inclusive, mencionadas por Arrhenius durante seu discurso na ocasião do recebimento do Prêmio Nobel em 1903 (Arrhenius, 1903; Jaselskis, Moore e Smolinski, 2007).

discussão do fenômeno de migração iônica por físicos como Faraday e Hittorf, levaram à já mencionada teoria de Arrhenius⁴².

Apesar dos fatos acima descritos terem ocorrido ainda durante as últimas décadas do século XIX, e de a teoria de Arrhenius ter sido proposta essencialmente como forma de explicação de algumas propriedades das soluções salinas, como a condução de corrente elétrica e as propriedades coligativas, a relação entre observações experimentais e teoria explicativa variou nas diferentes publicações analisadas nesta tese.

A teoria de Arrhenius foi apresentada pela primeira vez, considerando a amostra de livros didáticos sob investigação, na obra de McPherson e Henderson (1917). Cabe destacar que, na ocasião, foi apresentada como possível explicação para os fenômenos de condução de corrente e para as propriedades coligativas:

O porquê das soluções de certos compostos, como cloreto de sódio, conduzirem corrente elétrica, enquanto soluções de outros compostos, como açúcar, não conduzirem, ainda não é definitivamente conhecido. *É um fato significativo* que todos aqueles compostos cujas soluções são eletrólitos afetam os pontos de ebulição e congelamento dos solventes de maneira anormal (...) Os sólidos aparentemente agem como se suas moléculas quando dissolvidas em água quebrassem em duas ou mais partes, de modo que o efeito é o mesmo que se o número de moléculas tivesse sido aumentado. Esses fatos, tomados em conjunto com os fatos descobertos em conexão com a eletrólise, são mais bem explicados por uma teoria proposta primeiramente pelo químico sueco Arrhenius, conhecida como teoria da ionização (McPherson e Henderson, 1917, p. 151 – destaque nosso).

Nesse momento, uma fotografia de Arrhenius é apresentada (*Figura 45a*).

Os autores destacam, porém, que “a fim de ter utilidade, essa teoria [teoria de ionização] deve mostrar-se de acordo com as principais propriedades das soluções” (McPherson e Henderson, 1917, p. 154). O texto busca verificar a validade da teoria de ionização a partir da tentativa de explicação de diferentes observações experimentais.

⁴² Ver nota 41

Ainda no mesmo capítulo, ao tratar do fenômeno da eletrólise, os autores lançam mão de uma representação que inclui a notação de partículas, nesse caso, íons, seguida do texto:

Houve muita especulação para dar conta das cargas elétricas dos íons. *Parece ser muito provável* que os átomos dos elementos não sejam corpos homogêneos, mas sistemas organizados, cada um contendo seu próprio número de corpos menores, denominados elétrons (...) Eles podem ser separados da matéria comum, de forma que são capazes de existir na forma livre. *As evidências demonstram* que eles realmente são eletricidade negativa, que é portanto uma coisa material. Um corpo contendo mais do que seu número normal de elétrons é dito estar negativamente carregado, enquanto um corpo do qual foram retirados alguns de seus elétrons é dito positivamente carregado (McPherson e Henderson, 1917, p. 157 - destaques nossos).

FIG. 68. Svante August Arrhenius (1859-)
A Swedish chemist, who suggested the theory of ionization

(a)

FIG. 70. Diagram illustrating the theory of the electrolysis of sodium chloride (NaCl)

(b)

Figura 45. (a) Svante August Arrhenius; (b) Diagrama ilustrando a teoria eletrolítica para o cloreto de sódio (McPherson e Henderson, 1917).

Cabe destacar, ainda, a apresentação da relação entre evidências empíricas e a elaboração de construtos teóricos proposta por Ostwald (1924). Ao longo do Capítulo VIII de sua obra, intitulado “Soluções diluídas”, o autor elenca uma série de observações experimentais relacionadas à pressão osmótica, difusão, pressão de vapor, temperatura de congelamento e dissolução, que acabam por culminar na teoria de ionização/dissociação iônica como única hipótese explicativa viável. O trecho abaixo ilustra bem o percurso adotado pelo autor:

[...] os sais em suas soluções diluídas comportam-se como se seus componentes não estivessem unidos, posto que a variação das propriedades, característica das combinações, não existem nesse caso. Adicionemos a esse fato que o comportamento osmótico das soluções salinas, e somente dessas, acusa a existência de um maior número de moléculas que as correspondentes à fórmula, de modo que *nos vemos inclinados a admitir que realmente é assim* [...] Pode-se objetar a respeito da existência desses componentes que eles nunca foram separados e que, assim, possuem existência hipotética. A esta objeção pode-se responder que as propriedades elétricas dos íons tornam praticamente impossível estudá-los separadamente [...] Um grande número de considerações que serão expostas mais tarde demonstram que este modo de interpretar os fatos vê-se confirmado não apenas pelos pesos moleculares, pelas propriedades físicas e pelas reações analíticas, mas também o estudo dos equilíbrios químicos e do comportamento elétrico dos sais confirma que *a hipótese da dissociação eletrolítica é a única viável* (Ostwald, 1924, p. 245-247 – destaques nossos).

Ainda que o autor não recorra a recursos imagéticos em sua defesa (a não ser na descrição dos fatos experimentais, quando lança mão de gráficos e da representação de aparatos, como demonstrado na *Figura 46*), é interessante notar como a teoria de Arrhenius aparece como explicação decorrente de evidências experimentais, reforçando o aspecto processual das ciências e dos construtos científicos.

Figura 46. (a) Curva relacionando pressão de vapor e temperatura; **(b)** Aparelho ebulioscópico (Ostwald, 1924).

Pode-se destacar ainda que, no início do capítulo, Ostwald ressaltava a característica de ciência de princípios assumida pela química nos anos que antecederam a publicação de sua obra.

No intervalo de pouco mais de três décadas transcorridas desde que van't Hoff estabeleceu sua teoria [de que os corpos dissolvidos obedecem às mesmas leis que os gases], a Química Geral se desenvolveu graças a ela com extraordinária rapidez e converteu-se a uma ciência regida por princípios gerais [...] Por esta razão, e também devido à relativa novidade da referida evolução, justifica-se o destaque atribuído à teoria das soluções diluídas (Ostwald, 1924, p. 219).

Ainda como último comentário referente à obra de Ostwald, a forma de apresentação do comportamento das soluções e à teoria de ionização/dissociação eletrolítica parecem adequar-se à proposta evidenciada pelo autor no prólogo de 1908, mantido na publicação de 1924. Nele, o autor afirma que:

Considerando o conteúdo, atendo-me aos progressos recentes da ciência, modifiquei não apenas a distribuição geral dos capítulos que tratam dos conceitos fundamentais da Química, mas também adicionei alguns capítulos totalmente novos que tratam dos íons gasosos, dos fenômenos radioativos e dos colóides (...) [O estudo desses novos capítulos] contribuiu profundamente para a evolução de minha própria personalidade científica. Pude convencer-me de que há pouco tempo possuímos a prova experimental de que a matéria apresenta estrutura discreta ou corpuscular, prova que se havia buscado em vão há séculos pelos partidários da hipótese atômica (Ostwald, 1924, p. V-VI).

O que observamos na maioria das obras publicadas nos anos posteriores parece dar continuidade à proposta de concretização da realidade atômica, proposta essa cada vez mais auxiliada por recursos de natureza imagética.

Tomemos, como exemplo inicial, a abordagem proposta para o processo de dissolução e seus aspectos cinéticos-moleculares.

As Figuras 47a e 47b apresentam abordagens propostas por McPherson e Henderson (1917 – esquerda) e Babor (1944 – direita). Nelas podemos observar que, ainda que sejam

valorizados, a título de representação, os aspectos sensoriais, as relações em nível atômico-molecular são indicadas através de setas associadas aos movimentos das partículas.

Figura 47. (a) Diagrama ilustrando o equilíbrio de uma solução saturada (McPherson e Henderson, 1917); **(b)** Aspecto cinético-molecular da dissolução (Babor, 1944).

O texto associado às imagens acima apresentadas explicita a tentativa de inserção de elementos teóricos na observação feita:

Quando um torrão de açúcar é colocado em um pequeno béquer e coberto com água, como representado na figura 64 [Figura 47a], ele gradualmente diminui em tamanho e passam para a solução partículas saindo dele e difundindo através do solvente. Se houver açúcar e tempo suficientes, a concentração de açúcar na solução alcança um valor limite definido, e nós dizemos que a dissolução do açúcar cessa e a solução está saturada. Há boas razões para acreditar que partículas continuam a deixar o açúcar, mas que um equilíbrio foi atingido, sendo a taxa de partículas que saem igual à taxa de partículas que retornam a partir da solução (McPherson e Henderson, 1917, p. 146-147).

Quando se coloca em água um cristal de sulfato de cobre hidratado, pouco a pouco ele vai diminuindo, finalmente desaparecendo, enquanto o líquido em sua vizinhança imediata vai colorindo-se de azul. Moléculas do sólido, portanto, deixam a superfície do cristal e penetram na solução como partículas líquidas. Embora o movimento das moléculas individuais seja rápido, a velocidade de dispersão do material dissolvido através do líquido é dificultada pelo agrupamento das moléculas do solvente. A coloração azul se intensifica gradualmente, posto que as moléculas se movem contra a força da gravidade, contra as camadas superiores de água. Esse fenômeno de interposição de solvente e soluto se chama difusão. [...] Se maior quantidade de sólido é adicionada, a velocidade de dissolução diminui, até que seja alcançado um estado em que o mesmo não se dissolva mais. Temos então uma condição na qual o número de moléculas que se depositam na superfície do sólido é exatamente igual ao número de moléculas que deixa essa superfície (Babor, 1944, p. 148-149).

Associadas ao texto, as ilustrações são, assim, *sin-signos* da dissolução do açúcar e do sulfato de cobre, respectivamente. Em sua relação com o objeto, ainda que haja certo grau

de iconicidade (busca-se relação de semelhança entre a o arcabouço teórico desenvolvido no texto e a imagem), a indexicalidade ainda é bastante notável, dado que as conclusões teóricas advêm da observação de que as características macroscópicas da solução não mais se alteram a partir de certo instante. E é com essa observação que as imagens apresentadas na *Figura 47* mais se relacionam.

Tal quadro vai sofrendo modificações, especialmente a partir da introdução do conceito de polaridade, que permite outro olhar sobre o processo de dissolução. A *Figura 48* traz sequência de imagens apresentadas por Holmes (1946) em diferentes momentos de sua obra em que o tema soluções foi trabalhado.

(a)

Fig. 62. Equilibrium in a saturated solution.

(b)

(c)

(d)

Figura 48. (a) Em solução, o íon positivo Na^+ atrai a extremidade negativa da molécula de água dipolar enquanto o íon negativo Cl^- atrai a extremidade positiva; (b) Equilíbrio em uma solução saturada; (c) Solução do sólido KCl para formar íons hidratados; (d) Equilíbrio de solução do sistema cloreto de sódio cristalino em água (Holmes, 1946).

A representação da solução de cloreto de sódio em equilíbrio (*Figura 48d*) merece destaque uma vez que associa aspectos marcadamente indiciais (o béquer, existente) e icônicos (a representação do cristal de cloreto de sódio por semelhança com a teoria que a

precede). Aos poucos, os construtos *teóricos*, inicialmente apresentados como tal, vão assumindo estatuto cada vez maior de realidade. Nesse caso, esse processo é aparentemente reforçado pela tentativa de atribuição de caráter cada vez mais *indicial* a um *sin-signo icônico*, conseguido graças a estratégias como associação entre aspectos sensoriais e teóricos e a inserção de elementos que confirmam maior “dinamicidade” à imagem. Outros exemplos são apresentados na *Figura 49*.

Figura 49. (a) A adição da solução incolor de iodeto de potássio, KI , à solução incolor de nitrato de chumbo, $Pb(NO_3)_2$, produz o precipitado amarelo de iodeto de chumbo, PbI_2 , que lentamente decanta no fundo do béquer (Brown et al., 1999). Da esquerda para a direita: KI em solução aquosa, $Pb(NO_3)_2$ em solução aquosa e PbI_2 sólido com K^+ e NO_3^- em solução; (b) Ilustração do caráter dinâmico de uma solução em que há soluto iônico em excesso (Brown et al., 1999); (c) Equilíbrio em uma solução saturada (O'Connor, 1977).

É interessante destacar o papel desempenhado pelas setas na *Figura 49a* na atribuição da indexicalidade. Em pesquisa realizada com 144 livros didáticos de ciências voltados ao ensino fundamental, Martins e Queiroz (2010) propuseram análise semiótica das setas em diferentes contextos, visando contribuir para a compreensão de sua operação em diferentes tarefas cognitivas.

Na ocasião, setas utilizadas com o objetivo de “ampliação de tamanho” foram categorizadas como *legi-signos indexicais*. O fundamento legi-sígnico está associado à natureza convencional e padronizada da estrutura das setas. A indexicalidade, por sua vez, relaciona-se ao fato de que “Geralmente se utiliza o extremo da seta para exibir o que se pretende *evidenciar*, mobilizando a atenção do intérprete para o foco que transmite a informação ou que conduz às premissas” (Martins e Queiroz, 2010, p. 14 – destaque nosso). Na ilustração presente na obra de Brown e colaboradores (1999), as setas buscam *evidenciar* “*existentes*” localizados espacial e temporalmente, mas não acessíveis diretamente pelos sentidos. Papel semelhante é desempenhado pelos traços que indicam movimento no exemplo extraído de O’Connor (1977) – *Figura 49c*.

Como já mencionado, o próprio texto utilizado em associação às imagens contribui para a compreensão realista. Ainda que, é necessário relembrar, seja necessário aprofundamento em teorias de análise de discurso, é interessante notar como alguns verbos e expressões empregados pelos autores favorecem e estimulam a imaginação do leitor no sentido de ocorrência real dos fenômenos descritos. Vejamos o exemplo de Hardwick (1965):

Vamos considerar um íon Cl^- singular isolado, na superfície de um cristal de cloreto de sódio; este íon é fortemente atraído por íons de cargas opostas, situados ao seu redor e abaixo dele e é por isso mantido nessa posição, como uma parte da estrutura. Se o cristal estivesse mergulhado num mar de moléculas não polares, o íon Cl^- em questão seria constantemente *empurrado e golpeado* por essas moléculas, mas não sofreria nenhuma alteração substancial (NaCl não é solúvel em líquidos não polares). Por outro lado, quando o cristal é submerso num líquido polar, isto é, na água, a ação é muito diferente. Nosso íon negativo Cl^- exercerá uma forte força de atração sobre as partes positivas das moléculas próximas da água enquanto íons contíguos Na^+ atraem simultaneamente as extremidades negativas das mesmas moléculas. Dessa maneira o movimento vibracional contínuo tanto das moléculas da água como dos próprios íons começará a produzir um efeito. Como os dipolos podem, numa maneira de dizer, formar uma ponte para as forças, entre os íons, *é fácil para as moléculas da água penetrar na superfície do cristal e finalmente rodear os íons isolados e removê-los* (Hardwick, 1965, p. 217 – destaques nossos).

Ao texto acima segue a representação:

Figura 50. Desenhos esquemáticos dos sucessivos estados na solvatação de íons na superfície de um cristal. Os dipolos da molécula da água são vistos como pequenos triângulos. O desenho foi muito simplificado para maior clareza (Hardwick, 1965).

Os exemplos acima apresentados evidenciam que os recursos imagéticos empregados na discussão do fenômeno de dissolução são, em sua quase totalidade, voltados à dissolução de substâncias capazes de sofrer ionização ou dissociação. As únicas tentativas de ampliação do processo de dissolução para substâncias não dissociáveis/ionizáveis, lançando mão de representações imagéticas, foram observadas nas

obras de Sienko e Plane (1968) – *Figura 51* – e de Quagliano e Vallarino (1978) – *Figura 52*. O seguinte texto acompanha a figura de Sienko e Plane (1968):

Na solução de um não-eletrólito, as moléculas de soluto mantêm sua individualidade. Por exemplo, quando se dissolve açúcar em água, as moléculas de açúcar ficam em solução, como moléculas solvatadas ou hidratadas [ver *Figura 51*]. A molécula de açúcar hidratada, que consiste em uma molécula de açúcar rodeada por uma porção de moléculas de água, é neutra ou não-carregada. Quando os eletrodos positivo e negativo são mergulhados em uma solução contendo moléculas de açúcar hidratadas, não há motivo para as partículas se moverem, pois são neutras. Portanto, não há condutividade elétrica (Sienko e Plane, 1968, p.211).

Figura 51. Representação esquemática da dissolução de açúcar em água (Sienko e Plane, 1968).

Figura 52. Representação esquemática de um cristal de iodo dissolvendo-se na água (Quagliano e Vallarino, 1978).

Possível explicação para tal observação pode estar na relação que a dissociação e a ionização apresentam com as propriedades especiais das soluções de eletrólitos, dentre as quais as propriedades coligativas merecem destaque e serão, por esse motivo, empregadas como segundo e último exemplo desse processo de análise.

Conforme mencionado anteriormente, a teoria de ionização era empregada, nas obras publicadas no início do século, como possível explicação para as peculiaridades das soluções de eletrólitos frente às soluções de não eletrólitos. Como outro exemplo significativo, podemos citar trecho extraído de Babor (1944):

Para ter um conceito claro dos princípios básicos da teoria de dissociação eletrolítica (ionização), será necessário voltar na história da química, em momento anterior à sua enunciação por Arrhenius em 1887. Vamos então, primeiramente, situarmo-nos acerca dos conhecimentos químicos que os homens da ciência possuíam naquele período. Depois tentaremos seguir o raciocínio de Arrhenius e descobrir o processo ideológico que o levou a relacionar conhecimentos e experimentos que ninguém havia tentado relacionar até então ⁴³(Babor, 1944, p. 182).

No caso citado, os recursos imagéticos empregados na abordagem das propriedades coligativas propriamente ditas eram de caráter indicial, mais associados aos aparatos experimentais para determinação de efeitos crioscópicos / ebulioscópicos ou ao comportamento das soluções expresso através de gráficos cartesianos (ver *Figura 53*). Abordagens semelhantes foram observadas para as obras de Holmes (1946) e Partington (1950).

⁴³ Ver nota 41.

Figura 53. (a) Membrana M separando solvente puro (A) e solução (B); **(b)** Aparato para medida da pressão osmótica; **(c)** Pressão de vapor do gelo, da água e de uma solução a várias temperaturas; **(d)** Pressão de vapor de uma mistura de dois líquidos; **(e)** Temperatura de ebulição de soluções de diferentes concentrações de HCl (Babor, 1944).

Alguns autores, no entanto, optaram por abordagem distinta, ocorrendo em alguns casos, inclusive, a inversão dos tópicos mencionados, ou seja, a apresentação da teoria de dissociação/ionização como causa do comportamento das soluções eletrolíticas (não do ponto de vista histórico, mas obviamente como opção didática). Na obra de Kotz e Treichel (1998), por exemplo, o tópico “Propriedades coligativas” inicia-se da seguinte maneira:

Na superfície de uma solução aquosa estão presentes moléculas de água e também íons, ou moléculas do soluto [ver *Figura 54*]. As moléculas de água podem abandonar o líquido e entrar na fase gasosa, onde exercem a pressão de vapor da solução. Não há, porém, tantas moléculas de água na superfície da solução quantas na superfície da água pura, pois algumas foram deslocadas pelos íons ou moléculas do soluto. Assim, o número de moléculas de água que podem escapar da superfície do líquido fica reduzido e, por isso, a pressão de vapor é *mais baixa* que a pressão de vapor da água pura, na mesma temperatura. [Após algumas considerações de ordem matemática] chegamos à **lei de Raoult** (Kotz e Treichel, 1998, p. 439-440 – destaques dados pelos autores)

Figura 54. “A água do mar [esquerda] é solução aquosa de cloreto de sódio e muitos outros sais. A pressão de vapor da água de uma solução aquosa não é tão grande quanto a pressão de vapor da água pura na mesma temperatura [direita]” (Kotz e Treichel, 1998, p. 441).

No exemplo acima, a lei de Raoult é apresentada depois da explicação baseada no comportamento das partículas, como se o comportamento fosse consequência do *fato molecular* e não esse último uma explicação possível para o fato experimental.

O discurso é reforçado, mais uma vez, pelo aumento da iconicidade em relação à teoria que precede a ilustração, caracterizada pela representação dos ângulos de ligação previstos para a molécula de água e pelos distintos raios iônicos⁴⁴, associado à indexicalidade conferida pelas setas, que “denotam a ideia de percurso, conduzindo o leitor

⁴⁴ Ainda que não se configure objeto dessa pesquisa, é importante destacar que os raios iônicos foram erroneamente representados.

a conectar cada *molécula*⁴⁵ a um local específico de origem, de existência espacial local”
(Martins e Queiroz, 2010, p. 11).

⁴⁵ O trecho entre aspas é uma adaptação do original extraído de Martins e Queiroz, no qual se lê “denotam a ideia de percurso, conduzindo o leitor a conectar cada *pessoa* a um local específico de origem, de existência espacial local”.

Les mystères de l'horizon, René Magritte, 1955. Fonte: <http://www.wikipaintings.org/en/rene-magritte>.

Considerações e perspectivas

Capítulo 4

Considerações e perspectivas

Retomando os objetivos elencados para essa pesquisa, temos que ela está inserida, primeiramente, num contexto de busca de fundamentação filosófica coerente para a atividade química e seu ensino. Nesse contexto, foi traçado diálogo entre diferentes propostas triádicas amplamente difundidas na literatura, a filosofia peirceana e algumas das principais questões colocadas pela filosofia da química contemporânea.

Com relação às tríades dedicadas à apresentação da atividade do químico ou à descrição do ensino dessa ciência, observou-se falta de clareza acerca do objeto sob discussão e confusão envolvendo planos de argumentação, como destacado por Araujo Neto (2009) e Labarca (2010a), bem como recorrente dicotomia entre representação e ente representado, levando à indesejável obscurecimento do papel e das limitações dos construtos científicos (teoria e linguagem), como sugerido por Bucat e Mocerino (2009) e Souza e Cardoso (2007, 2009) e concepções ingenuamente realistas de acordo com as quais se atribui existência concreta a objetos (moléculas, por exemplo) que possuem, essencialmente, caráter explicativo e hipotético.

Nesse último aspecto, especificamente, cabe destacar que as propostas de resposta a questões como “Como a química funciona?” ou “O que os químicos fazem?” não evidenciavam a importante relação existente entre fato, interpretação e representação. Possíveis resultados dessa negligência são as já mencionadas concepções distorcidas acerca do papel desempenhado pelos modelos na construção do conhecimento científico e consequentes inadequações ontológicas.

A teoria peirceana, com especial destaque para a fenomenologia e teoria dos signos, mostrou-se bastante promissora na elucidação dos problemas filosóficos apresentados. A compreensão de que as evidências experimentais, de natureza instrumental ou não, atuam como signos de um objeto (realidade), ao qual só podemos ter acesso parcial (objeto imediato), contribui para a compreensão da atividade científica como processo em permanente construção e significativamente influenciado pelo momento histórico em que se dá. Ao mesmo tempo, tal abordagem permite evidenciar a capacidade peculiar da ciência química de criar novos objetos dinâmicos, que a distingue das demais áreas do conhecimento.

O processo semiótico iniciado com a evidência experimental levará a diferentes interpretantes que, ao longo do tempo, levarão a consensos científicos tanto acerca das teorias explicativas quanto das suas estratégias de comunicação, o que permite superar a dicotomia *teórico/submicroscópico vs. representacional/simbólico* e propor a ideia de construtos teóricos (interpretantes finais) que incluem teoria e linguagem.

Tal percepção do processo de construção do conhecimento permite, finalmente, o abandono da figura de um triângulo, dado que não estamos lidando com planos equivalentes de argumentação ou mesmo com planos ontologicamente equivalentes. Ampliando tal percepção, a teoria de Peirce se aplica aos construtos científicos da Química sem incorrer em um problema ontológico, uma vez que “o objeto não passa a existir em virtude do signo” (Santaella, 2000, p. 36).

Abordagens ingenuamente realistas acerca da existência material das entidades químicas (átomos, íons, orbitais e moléculas, por exemplo) têm sua coerência e aplicabilidade questionadas, portanto, quando lançamos mão da perspectiva de análise da atividade química ora apresentada, aspecto que ganha especial importância quando

passamos a considerar a comunicação não apenas do conteúdo químico (construtos científicos), mas também de seu processo de construção nas salas de aula.

Assim, a tríade proposta na *Figura 12* sugere interpretação da atividade química segundo a qual não temos acesso à totalidade da Natureza (objeto) que se deseja compreender. Nosso acesso a essa realidade é mediado pelas interações (signos) que conseguimos estabelecer com o mundo e limitado por elas. No processo de interpretação dos referidos signos, a comunidade científica vivencia longa sequência de elaboração de interpretantes, decorrente de novas e variadas semioses que se interpõem à elaboração de um modelo teórico. Dado o caráter falibilista de nosso pensamento, o objeto dinâmico (a Natureza de fato como ela é) nunca poderá ser alcançado. A linguagem, de especial importância para a ciência química, dado seu caráter multimodal, é também assumida como parte desses interpretantes, motivo pelo qual, diferentemente das tríades propostas pelos autores apresentados ao longo do texto, não é compreendida como aspecto desvinculado das teorias (ou modelos explicativos).

A compreensão do processo semiótico de elaboração de construtos científicos leva à necessidade de valorização dos aspectos de mediação e representação nas salas de aula de ciências, que se contrapõem, em certa medida, ao realismo relacionado aos objetos da química, não exclusivamente no que se refere à sua existência, mas às consequências da asserção de que a realidade molecular é a causa dos fenômenos e não explicação possível para eles.

Foi sob a luz dos aspectos acima mencionados que se deu a análise das 31 obras didáticas destinadas ao ensino de Química nas Universidades brasileiras ao longo do século XX, com especial destaque para as estratégias de comunicação empregadas pelos autores e sua relação com as questões relacionadas à epistemologia e à ontologia da ciência química e

de seus objetos.

Mais que uma forma de promoção de visão organizada do conteúdo trabalhado, resumindo o “consenso disciplinar” de determinada área, a análise dos livros didáticos sugeriu bons indícios não apenas sobre as concepções de ensino predominantes em um determinado país ou região, mas também sobre as concepções de ciência, sobre o processo de aceitação/refutação de determinado conceito ou teoria ou, até mesmo, para investigações mais profundas sobre a dependência intelectual⁴⁶.

Como apresentado, a análise das obras sugeriu diferentes abordagens do conhecimento químico, decorrentes do compromisso com diferentes concepções de química ao longo do período estudado e, inquestionavelmente, à mudança no perfil dos estudantes que ingressavam no ensino superior: da química enquanto *ciência prática e aplicada* (início do século XX) passamos à *ciência do invisível* (ênfase nos princípios observada a partir dos anos 1950) e à *ciência de interfaces* e de inegável influência tecnológica.

Tal transição foi inegavelmente acompanhada por modificações na forma de comunicação do conteúdo químico, não apenas no que se refere ao conteúdo representado, mas também às estratégias de representação, as quais serão elencadas a seguir. Antes, porém, faz-se pertinente breve observação do *Quadro 3*, que resume as categorias semióticas propostas para as nove classes de imagens identificadas nas obras analisadas.

⁴⁶ Para mais ver Souza e Porto (2012).

Quadro 3. Classificação semiótica proposta para as nove categorias identificadas na análise das imagens dos livros didáticos. Tal classificação leva em consideração o fundamento do signo (primeira tricotomia) e sua relação com o objeto (segunda tricotomia).

Categorias	Sub-categorias	1ª Tricotomia	2ª Tricotomia
Laboratório e Experimentação	Aparatos	Sin-signo	Índice
	Obtenção/Separação	Sin-signo	Índice
	Experimentos/Resultados	Sin-signo	Índice
Indústria e Meios produtivos	-	Sin-signo	Índice
Gráficos e diagramas	Cartesianos	Legi-signo	Índice
	Descritivos ou de energia	Legi-signo	Ícone
Cotidiano	-	Sin-signo	Índice
Modelos	Cristalográficos	Legi-signo	Ícone
	Envolvendo partículas	Sin-signo	Ícone
	Não envolvendo partículas	Sin-signo	Índice
História da Ciência	-	Sin-signo	Índice
Amostras	-	Sin-signo	Índice
Analogias	-	Quali-signo	Ícone
Física	-	Legi-signo	Símbolo

Um primeiro ponto que merece ser destacado é que, diferentemente do que sugerem as ilustrações mais relacionadas ao conteúdo físico presentes na amostra sob investigação, os signos empregados na comunicação do conhecimento químico são, em sua maioria, *sin-signos* em seu fundamento. Como mencionado, isso ocorre porque não é possível representar uma “molécula geral” ou uma “reação de decomposição geral”⁴⁷. O mesmo não se aplica ao conhecimento físico, uma vez que é possível descrever o efeito da gravidade, por exemplo, sobre um objeto geral e extrapolar tal descrição para quaisquer existentes.

Mas a extrapolação descrita para os conceitos físicos também é esperada, e mesmo exigida, dos estudantes de química. Assim, é desejável que, ao compreender o comportamento de uma solução de ácido acético em água, o aprendiz seja capaz de explicar o comportamento de qualquer outro eletrólito fraco (em geral), bem como compará-lo ao comportamento qualquer eletrólito forte (em geral). *Temos, assim, que os autores de livros didáticos (e, obviamente professores) lançam mão de sin-signos objetivando que, no*

⁴⁷ Cabe reiterar que nos referimos aqui ao conteúdo imagético e não à possibilidade de representação de equações químicas gerais, por exemplo.

processo de comunicação do conhecimento químico, sejam criados interpretantes que, ao atuar como signos em novas semioses, atuem como legi-signos em seu fundamento. Tal transição inegavelmente constitui um dos obstáculos ao aprendizado de química.

Dois outros obstáculos que parecem colocar-se à compreensão do conhecimento químico, em uma perspectiva ampla, referem-se à sensação de realidade imposta: (i) pelo *aumento da iconicidade em relação às teorias* e (ii) *pela inversão do objeto aos quais as evidências experimentais (signos) se referem.*

Por *iconicidade em relação às teorias* entendemos o “acordo cultural iconizado por se tratar de uma regularidade convencionada através de uma qualidade (ícone)” (Martins e Queiroz, p. 7). Nos exemplos sugeridos ao longo dos dois estudos de caso apresentados, as qualidades nas quais se baseia o atributo icônico referem-se à teoria que precede a representação. Podemos citar, como exemplo, ângulos de ligação, raios atômicos e relações espaciais.

Já ao tratar da *inversão do objeto* nos referimos às estratégias que convertem as evidências experimentais, outrora signos (índices) do comportamento macroscópico da matéria, em índices do comportamento das partículas que, de construtos teóricos e linguísticos, passam a existentes concretos. Tal situação foi claramente evidenciada, por exemplo, na discussão dos diferentes valores de densidade observados para a água e benzeno (ver *Figura 44*) e na discussão da pressão de vapor proposta por Kotz e Treichel (1998) – ver *Figura 54*.

A busca pela concretude das partículas parece, de fato, ser uma tendência em química, que não se mostra associada exclusivamente à estrondosa ampliação das técnicas instrumentais. A maior ênfase às dimensões icônicas parece estar também relacionada a uma proposta didática, de facilitação da compreensão dos conceitos químicos, que ganha

força significativa ao final da década de 1980, quando os problemas relacionados à educação em química parecem tornar-se alvo de preocupação mais generalizada. Tal estratégia didática não ocorreu, porém, sem implicações, dentre as quais figura destacadamente a já mencionada confusão entre representação e representado. Acreditamos que a abordagem peirceana proposta nessa pesquisa contribui para o resgate e afirmação do papel dos modelos na construção e comunicação das ciências, ampliando as discussões acerca do realismo epistemológico e ontológico.

No que se refere à autonomia da ciência química, dois aspectos foram sugeridos. O primeiro refere-se à linguagem da química (em seus aspectos icônicos, indiciais e simbólicos), que tem sido tratada por alguns autores como característica marcante desta área de conhecimento. O segundo ponto reside nos próprios objetos, desde que os interpretantes gerados na semiose química permitem não apenas a aproximação das qualidades da realidade material, mas também permitem alterá-las, chegando mesmo à criação de novos objetos.

Nesse contexto, ao propor abordagem fenomenológica/semiótica para a construção do conhecimento químico, a presente pesquisa almejava, inicialmente, contribuir para as discussões concernentes às suas dimensões filosóficas. A aplicação do referencial teórico construído à análise dos livros didáticos, porém, trouxe à tona novas questões que foram elencadas ao longo do texto. Acreditamos ser interessante reiterá-las aqui como possíveis desdobramentos a serem seguidos em novas pesquisas.

Considerando a importância que os ícones possuem nos processos de comunicação em química, o aprofundamento nas questões relacionadas aos hipoícones (imagens, diagramas e metáforas) pode ser bastante produtivo, o que também se estende, inegavelmente, ao aprofundamento nas questões relativas à terceira tricotomia, ou seja, às

relações entre signo e interpretante. Nesse último caso, análise interessante poderá ser depreendida das potencialidades de significação que o signo possui quando na presença de um intérprete. Finalmente, no que se refere à construção da realidade química, não apenas as imagens parecem desempenhar papel fundamental, mas o texto que as apoiam também se mostraram essenciais. Nesse contexto, a ampliação do tema mediante referenciais de análise do discurso certamente constituirá programa de pesquisa frutífero e interessante.

Tão vasto e complexo quanto o campo das ideias propostas por Charles Sanders Peirce mostra-se o campo de possibilidades aberto por sua aplicação. Finalizemos, assim, com o convite do filósofo que norteou as crenças e dúvidas construídas e reconstruídas ao longo da pesquisa que, por enquanto, se encerra: “Não nos esqueçamos de que a ciência é uma busca realizada por homens vivos e sua característica mais marcante é que, quando ela é genuína, está permanentemente em um estado de metabolismo e crescimento” (CP 1.232).

Almayer's folly, René Magritte, 1951. Fonte: <http://www.wikipaintings.org/en/rene-magritte>.

Referências Bibliográficas

Referências Bibliográficas

ACS – AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. The Reed College conference on the teaching of chemistry, **Journal of Chemical Education**, v. 35, n. 2, p. 54-55, 1958.

ALFONSO-GOLDFARB, A. M. **Da alquimia à química**. São Paulo: Nova Stella/EDUSP, 1987.

ALVES, M. M. **Beabá dos MEC-USAID**. Rio de Janeiro: Edições Gernasa, 1968.

ARAUJO NETO, W. N. **Formas de uso da representação estrutural no ensino superior de química**. 2009. 228f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, 2009.

ARRHENIUS, S. **Development of the theory of electrolytic dissociation**. Nobel Lecture, 1903. Disponível em <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1903/arrhenius-lecture.pdf>. Acesso em 06 out. 2012.

ATKINS, P. W.; JONES, L. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Porto Alegre: Bookman, 2001.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2000.

BABOR, J. A. **Química general moderna**. 2. ed. Barcelona: Manuel Marin, 1944.

BACHELARD, G. **A filosofia do não**. Lisboa: Presença, 1984.

_____. **O pluralismo coerente da química moderna**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2009.

BAIRD, D. Analytical instrumentation and instrumental objectivity. In: BHUSHAN, N.; ROSENFELD, S. (Ed.). **Of minds and molecules**: new philosophical perspectives on chemistry. New York: Oxford University Press, 2000. p. 90-113.

_____. Analytical chemistry and the 'big' scientific instrumentation revolution. In MORRIS, P. J. T. (Ed.). **From classical to modern chemistry**: the instrumental revolution. London: Royal Society of Chemistry, 2002. p. 29-56.

BAIRD, D.; SCERRI, E.; MCINTYRE, L. **Philosophy of chemistry**: synthesis of a new discipline. Netherlands: Springer, 2006.

BASBAUM, L. **Sociologia do materialismo**. São Paulo: Símbolo, 1978.

BAVINK, B. **Introducción a la Química General**. 2. ed. Barcelona: Labor, 1928.

BELTRAN, M. H. R. **Imagens de magia e de ciência**: entre o simbolismo e os diagramas da razão. São Paulo: EDUC, 2000.

BENSAUDE-VINCENT, B.; STENGERS, I. **História da Química**. Lisboa: Instituto Piaget, 1992. 402p.

BENSAUDE-VINCENT, B. College Chemistry: how a textbook can reveal the values embedded in chemistry. **Endeavour**, v. 31, n. 4, p. 140-144, 2007.

BHASKAR, R. **A realist theory of science**. London: Verso, 1977.

BOLL, M. **Cours de chimie**. Paris: Dunod, 1927.

BORGES, R. M. R. **Em debate**: cientificidade e educação em ciências. Porto Alegre: SE/CECIRS, 1996.

BRADY, J. E.; HUMISTON, G. E. **Química geral**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1986.

BRENT, J. **Charles Sanders Peirce**: a life. Indiana: Indiana University Press, 1998.

BRIGANDT, I.; LOVE, A. Reduction in biology. In: ZALTA, E. N. (Ed.) **The stanford encyclopedia of philosophy**, 2010. Disponível em <<http://plato.stanford.edu/archives/fall2010/contents.html>>. Acesso em 16 mai. 2012.

BRINKLEY, S. R. **Principles of general chemistry**. 3th. ed. New York: The Macmillan Company, 1944.

BROWN, T. L.; LeMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. **Química**: ciência central. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

BRUZZO, C. Biologia: educação e imagens. **Educação e Sociedade**, v. 25, n. 89, p. 1359-1378, 2004.

BUCAT, B.; MOCERINO, M. Learning at the sub-micro-level: structural representations. In: GILBERT, J. K.; TREAGUST, D. (Eds.) **Multiple representations in chemical education**. Netherlands: Springer, 2009.

BUREWICZ, A.; MIRANOWICZ, N. Beyond the dimensionality of visualization in chemistry. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 988, p. 244-249, 2003.

CAMEL, T. O.; KOEHLER, C. B. G.; FILGUEIRAS, C. A. L. A química orgânica na consolidação dos conceitos de átomo e molécula. **Química Nova**, v. 32, n. 2, p. 543-553, 2009.

CAMPANARIO, J. M. ¿Qué puede hacer un profesor como tú o un alumno como el tuyo con un libro de texto como éste? Una relación de actividades poco convencionales. **Enseñanza de las Ciencias**, n. 19, v. 3, p. 351-364, 2001.

CHAGAS, A. P. Os noventa anos de Les Atomes. **Química Nova na Escola**, n. 17, p. 36-38, 2003.

CHOPPIN, A. **Conferência de abertura do Simpósio Internacional Livro Didático: Educação e História**. 5 de novembro de 2007. Faculdade de Educação da USP, São Paulo.

CORACINI, M. J. **Interpretação, autoria e legitimação do livro didático**. São Paulo: Pontes, 1999.

DANA, J. D. **Manual de mineralogia**. v. 1. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1969.

DAVIDOWITZ, B.; CHITTLEBOROUGH, G. Linking the macroscopic and sub-microscopic levels: diagrams. In: GILBERT, J. K.; TREAGUST, D. (Eds.) **Multiple representations in chemical education**. Netherlands: Springer, 2009.

DEBUS, A. G. **Man and nature in the renaissance**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

DEMING, H. G. **General chemistry: an elementary survey**. 4th. ed. New York: John Wiley & Sons, 1939.

DIAZ, L.; PANDIELLA, S. Categorización de las ilustraciones presents en libros de texto de Tecnología. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 2, p. 424-441, 2007.

DICIONÁRIO Larousse Cultural. São Paulo: Nova Cultural, 1992.

DRIVER, R. Pupils Alternative Frameworks in Science. **Studies in Science Education**, v. 10, p. 37-60, 1981.

DUIT, R. On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. **Science Education**, v. 75, n. 6, p. 649-672, 1991.

DUNBAR, R. E. Changing concepts of major topics in college general chemistry textbooks. **Journal of Chemical Education**, v. 17, n. 8, p. 370-373, 1940.

EARLEY, J. E. (Ed). **Chemical explanation: characteristics, development, autonomy**. Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 988, 2003.

FRANCA, L. **Apontamentos de chimica geral**. 5. ed. Rio de Janeiro: Pimenta de Mello, 1931.

FRANCISCO JUNIOR, W. E. **Analogias e situações problematizadoras em aulas de ciências**. São Carlos: Pedro & João Editores, 2010.

FRANCOUER, E. Beyond dematerialization and inscription. **Hyle**, v. 6, n. 1, p. 63-84, 2000.

GALAGOVSKY, L. R.; RODRÍGUEZ, M. A.; STAMATI, N.; MORALES, L. F. Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales. Un ejemplo para el

aprendizaje del concepto de reaccion química a partir del concepto de mezcla. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 21, n. 1, p. 107-121, 2003.

GALT, H. A. What industry wants of its chemists. **Journal of Chemical Education**, v. 14, n. 6, p. 260, 1937.

GARBERS, C. F.; SCHNEIDER, D. F.; van der MERWE, J. P. Synthesis of cis-2, cis-4-vitamin A by a Wittig condensation. **Journal of the Chemical Society**, v. 16, p. 1982-1983, 1968.

GEORGIADOU, A.; TSARPALIS, G. Chemistry teaching in lower secondary school with methods based on a) psychological theories; b) the macro, representational and submicro levels of chemistry. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 1, n. 2, p. 217-226, 2000.

GIBIN, G. B.; KIILL, K. B.; FERREIRA, L. H. Categorização das imagens referentes ao tema equilíbrio químico nos livros aprovados pelo PNLEM. **Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 2, p. 711-721, 2009.

GILBERT, J. K.; TREAGUST, D. (Eds.) **Multiple representations in chemical education**. Netherlands: Springer, 2009.

GOEDHART, M. J. A new perspective on the structure of chemistry as a basis for the undergraduate curriculum. **Journal of Chemical Education**, v. 84, n.6, p. 971-976, 2007.

GOIS, J.; GIORDAN, M. Semiótica na Química: a teoria dos signos de Peirce para compreender a representação. **Química Nova na Escola**, n. 7, p. 34-42, 2007.

GÓMEZ-IBÁÑEZ, J. D. Basic courses in chemistry. **Pure and Applied Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 361-366, 1972.

GROSHOLZ, E. R.; HOFFMANN, R. How symbolic and iconic languages bridge the two worlds of the chemist: a case study from contemporary bioorganic chemistry. In: BHUSHAN, N.; ROSENFELD, S. (ed.). **Of minds and molecules**. New York: Oxford University Press, 2000. p. 230-247.

HACKING, I. Experimentation and Scientific Realism. **Philosophical Topics**, v. 13, p. 71-87, 1982.

HALL, N. **Neoquímica**: a química moderna e suas aplicações. Porto Alegre: Bookman, 2004.

HAMLYN, D. W. **Uma história da filosofia ocidental**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1990.

HAMMOND, G. S. Restructuring of chemistry and chemical curricula. **Pure and Applied Chemistry**, v. 22, n. 1, p. 3-16, 1970.

_____. The three faces of chemistry. **Chemtech**, p. 140-143, 1987.

HAMMOND, G. S.; NYHOLM, R. The structure of Chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 48, n. 1, p. 6-13, 1971.

HARDWICK, E. R. **Química**. São Paulo: Edgard Blücher, 1965.

HARMAN, P. M. **Energy, force and matter: the conceptual development of nineteenth-century physics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

HAUSER, E. A. This nation will need more chemists after the war. **Journal of Chemical Education**, v. 20, n. 10, p. 513, 1943.

HOFFMANN, R. What might philosophy of Science look like if chemists built it? **Synthese**, v. 155, p. 321-336, 2007.

HOFFMAN, R. **O mesmo e o não mesmo**. São Paulo: UNESP, 2007.

HOFWEBER, T. Logic and Ontology. In: ZALTA, E. N. (Ed.) **The stanford encyclopedia of philosophy**, 2010. Disponível em <<http://plato.stanford.edu/archives/fall2010/contents.html>>. Acesso em 16 mai. 2012.

HOLMES, H. N. **Introductory college chemistry**. 4th. ed. New York: The Macmillan Company, 1946.

HUDSON, J. **The history of chemistry**. Londres: The MacMillan Press, 1994.

ITATANI, J.; LEVESQUE, J.; ZEIDLER, D.; NIKURA, H.; PÉPIN, H.; KIEFFER, J. C.; CORKUM, P. B.; VILLENEUVE, D. M. Tomographic imaging of molecular orbitals. **Nature**, n. 432, p. 867-871, 2004.

JANICH, P.; PSARROS, N. (Ed). **The autonomy of chemistry**. Würzburg: Königshausen und Neumann, 1998.

JASELSKIS, B.; MOORE, C. E.; SMOLINSKI, A. Theodor von Grotthuss (1785-1822) – A trail blazer. **Bulletin for the History of Chemistry**, v. 32, n. 2, p. 119-128, 2007.

JASPERS, K. Introdução ao pensamento filosófico. São Paulo: Cultrix, 1978 *apud* LUCKESI, C. C. Filosofia, exercício de filosofar e prática educativa. **Em Aberto**, n.45, 1990, p. 35-43.

JOHNSTONE, A. H. Macro and microchemistry. **The School Science Review**, v. 64, n. 227, p. 377-379, 1982.

JOHNSTONE, A. H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 7, p. 75-83, 1991.

_____. The Development of Chemistry Teaching. **Journal of Chemical Education**, v. 70, n. 9, p. 701-705, 1993.

_____. Teaching of chemistry: logical or psychological? **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, v. 1, n. 1. p. 9-15, 2000.

_____. Chemical education research in Glasgow in perspective. **Chemistry Education: Research and Practice**, v. 7, n. 2. p. 9-63, 2006.

_____. You can't get there from here. **Journal of Chemical Education**, v. 87, n. 1, p. 22-29, 2010.

JUSTI, R. S.; GILBERT, J. K. Philosophy of Chemistry in University Chemical Education: the Case of Models and Modelling. **Foundations of Chemistry**, v. 4, p. 213-240, 2002.

KLEIN, U. **Experiments, models, paper tools**. Culture of organic chemistry in the nineteenth century. Stanford: Stanford University Press, 2003.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, Jr., P. M. **Química e reações químicas**. 2 v. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2007.

LABARCA, M. Acerca del triangulo de Johnstone: algunos comentarios filosóficos. Caderno de resumos da **1ª Conferência Latino-americana do International History, Philosophy and Science Teaching Group**, p. 101, 2010a.

LABARCA, M. G. Filosofia de la química: a poco más de diez años de su nacimiento. In: MARTINS, R. A.; LEWOWICZ, L.; FERREIRA, J. M. H.; SILVA, C. C.; MARTINS, L. A. P. (Org.) **Filosofia e história na ciência no Cone Sul** – Seleção de trabalhos do 6º Encontro. Campinas: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul, 2010b. p. 414-422.

LAMIRAND, J. **Cours de chimie**. Paris: Masson et Cie, 1927.

LEMES, A. F. G.; SOUZA, K. A. F. D.; CARDOSO, A. A. Representações para o processo de dissolução em livros didáticos de química: o caso do PNLEM. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 3, p. 184-190, 2010.

LEMKE, J. Multiplying meaning: visual and verbal semiotics in scientific text. In: MARTIN, J.; VEEL, R. (Eds). **Reading Science**. London: Routledge, 1998.

LOMBARDI, O.; LABARCA, M. En defensa de la autonomia ontológica del mundo químico. **Diálogos**, v. 34, n. 84, p. 51-70, 2004.

_____. The ontological autonomy of the chemical world. **Foundations of Chemistry**, v. 7, n. 2, p. 125-148, 2005.

_____. Why orbitals do not exist? **Foundations of Chemistry**, v. 12, n. 2, p. 149-157, 2010.

LUCKESI, C. C. Filosofia, exercício de filosofar e prática educativa. **Em Aberto**, n.45, 1990, p. 35-43.

MACIEL, M. **Elementos de química geral**. 2. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1913.

MAHAFFY, P. The future shape of chemistry education. **Chemistry Education: Research and Practice**, v. 5, n. 3, p. 229-245, 2004.

_____. Moving chemistry education into 3D: a tetrahedral metaphor for understanding chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 83, n. 1, p. 49-55, 2006.

MAHAN, B. H. **Química: um curso universitário**. São Paulo: Edgard Blücher, 1970.

MAIO, V. M. P.; FRÖEHLICH, P. E.; BERGOLD, A. M. Interconversão tretinoína / isotretinoína: um problema no preparo de formulações farmacêuticas. **Latin American Journal of Pharmacy**, v. 22, n. 3, p. 249-254, 2003.

MARTINS, I. Analisando livros didáticos na perspectiva dos estudos do discurso: compartilhando reflexões e sugerindo uma agenda para a pesquisa. In: MARTINS, I.; GOUVÊA, G.; VILANOVA, R. **O livro didático de ciências: contextos de exigência, critérios de seleção, práticas de leitura e uso em sala de aula**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012, p. 11-30.

MARTINS, I.; GOUVÊA, G.; PICCININI, C. Aprendendo com imagens. **Ciência e Cultura**, n. 4, p. 38-40, 2005.

MARTINS, I.; GOUVÊA, G.; VILANOVA, R. **O livro didático de ciências: contextos de exigência, critérios de seleção, práticas de leitura e uso em sala de aula**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012.

MARTINS, L.; QUEIROZ, J. Morfologia para setas em livros didáticos: uma abordagem semiótica. **Arcos Design**, v. 5, n. 2, p. 2-16, 2010.

MASTERTON, W. L.; SLOWINSKI, E. J. **Química geral superior**. 4. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1978.

MATTHEWS, M. R. Vino Viejo en botellas nuevas: un problema con la epistemologia constructivista. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 12, n. 1, p. 79-88, 1994.

MAYR, E. **Biologia, ciência única: reflexões sobre a autonomia de uma disciplina científica**. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

McPHERSON, W.; HENDERSON, W.E. **An elementary study of chemistry**. 2nd.ed. Boston: The Atheneum Press, 1917.

MICHAEL, F. Two forms of scholastic realism in Peirce's philosophy. **Transactions of the Charles S. Peirce Society**, v. 24, n. 3, p. 317-348, 1988.

MIKHAILOVSKIJ, I. M.; SADANOV, E. V.; MAZILOVA, T. I.; KSENOFONTOV, V. A.; VELICODNAJA, O. A. Imaging the atomic orbitals of carbon atomic chains with field-emission electron microscopy. **Physical Review**, B 80, 165404, 2009.

MONTEIRO, I. G.; JUSTI, R. S. Analogias em livros didáticos de química brasileiros destinados ao ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 2, p. 67-91, 2000.

MOORE, W. C. Industry's interest in the Professional training of chemists'. **Journal of Chemical Education**, v. 18, n. 12, p. 576-580, 1941.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. In: MOREIRA, M. A.; CABALLERO, M. C.; RODRÍGUEZ, M.L. (coord.) **Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo**. 1997, Burgos, Espanha, 1997, p. 17-45.

MOREIRA, T. M. L. **A interpretação da imagem**: subsídios para o ensino da arte. 2005. Tese (Doutorado em Artes) – Escola de Comunicação e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? **Science & Education**, v. 4, n.3 p.267- 285, 1995.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H.; ROMANELLI, L. I. A proposta curricular de química do estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. **Química Nova**, v. 32, n. 2, p. 273-283, 2000.

MURPHY, W. J. Chemistry and chemical engineering curricula in the postwar era. **Journal of Chemical Education**, v. 24, n. 8, p. 376-379, 1947.

NICHOLSON, D. G. Trends: What's happening to descriptive inorganic chemistry? **Journal of Chemical Education**, v. 33, n. 8, p. 391-392, 1956.

NIINILUOTO, I. **Critical scientific realism**. New York: Oxford University Press, 2002.

NERNST, W. **Traité de chimie générale**. v. 1 e 2. 6. ed. Paris: Librairie Scientifique, 1912.

NÖTH, W.; SANTAELLA, L. **Imagem**: Cognição, Semiótica, Mídia. São Paulo: Iluminuras, 1998.

NOVAK, M. S. J. **Política de ação afirmativa**: a inserção dos indígenas nas universidades públicas paranaenses. 2007. 139 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Maringá, 2007.

NUNES, J. M. G.; FERREIRA, M. Representações de experimentação em livros didáticos de química. **La Salle - Revista de Educação, Ciência e Cultura**, v. 15, n. 2, p. 63-77, 2010.

O'CONNOR, R. **Fundamentos de química**. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1977.

OHLWEILER, O. A. **Introdução à química geral**. Porto Alegre: Globo, 1967.

OSTWALD, W. **Compendio de química general**. 6. ed. Barcelona: Manuel Marín, 1924.

PARTINGTON, J. R. **Química general e inorgânica**. Madrid: Dossat, 1950.

PAULA, M. F. A formação universitária no Brasil: concepções e influências. **Avaliação**, v. 14, n. 1, p. 71-84, 2009.

PAULING, L. **Química geral**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1972.

PEIRCE, C. S. Some consequences of four incapacities. **The Journal of Speculative Philosophy**, v. 2, n. 3, p. 140-157, 1868.

_____. **The Collected Papers**. HARTSHORNE, C.; WEISS, P.; BORKS, A. (Ed.). Cambridge: Harvard University Press, 1931-1958. (Aqui referido como CP, seguido do número da página).

_____. **Escritos Coligidos**. Coleção Os Pensadores, v. XXXVI. São Paulo: Abril Cultural, 1974.

_____. Classificação dos signos. In: PEIRCE, C. S. **Semiótica e filosofia**. São Paulo: Cultrix, EdUSP, 1975.

_____. **Semiotics and signification**: the correspondence between Charles S. Peirce and Victoria Lady Welby. HARDWICK C. S. (Ed.). Bloomington: Indiana University, 1977. (Aqui referido como SS, seguido do número da página).

_____. **Pragmatism as a Principle and Method of Right Reasoning**: The 1903 Harvard "Lectures on Pragmatism". TURRISI, P. A. (Ed.) Albany, NY: The State University of New York Press, 1997. (Aqui referido como HL, seguido do número da página).

PERALES, F. J. La imagen em la enseñanza de las ciencias: algunos resultados de investigación em la Universidad de Granada, España. **Formación Universitaria**, v. 1, n. 4, p. 13-22, 2008.

PERALES, F. J.; JIMÉNEZ, J. D. Las ilustraciones em la enseñanza –aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, n. 3, p. 369-386, 2002.

PESSOA JUNIOR, O. Realismo e Positivismo. In: _____. **Conceitos de física quântica**. São Paulo: Livraria da Física, 2003, p. 99-105.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 3, p. 213-227, 1999.

PIMENTEL, G. C.; SPRATLEY, R. D. **Química**: um tratamento moderno. 2v. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.

PINHEIRO, S. Z. O sujeito interpretador da realidade: um leitura de *La clairvoyance* (Autoportrait) de René Magritte. **Itinerários**, v.15/16, p. 53-68, 2000.

du PONT, E. F. What industry expects of its chemists. **Journal of Chemical Education**, v. 14, n. 6, p. 265, 1937.

PORTO, P. A.; CORIO, P.; MAXIMIANO, F. A.; FERNANDEZ, C.; The organization of chemistry as conceived by undergraduate students - a study using concept maps, *in* M. F. Tasar & G. Çakmakci (orgs.), **Contemporary science education research: international perspectives**, Ankara, Turquia: Pegem Akademi, 2010, pp. 161 – 166.

PUIG, Pe. I. **Curso geral de chimica**. 2. ed. Porto Alegre: Globo, 1932.

QUAGLIANO, J. V.; VALLARINO, L. M. **Química**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1979.

QUEIROZ, J.; EL-HANI, C. N. Semiotic modelling of biological processes: an introduction to Peircean semiotics. Toronto: Semiotics Institute Online, 2008. Disponível em < http://projects.chass.utoronto.ca/semiotics/cyber/queiroz_hani1.pdf>. Acesso em nov. 2011.

QUILL, L. L. The revision of chemistry and chemical engineering curricula - Introductory remarks. **Journal of Chemical Education**, v. 24, n. 8, p. 369-370, 1947.

QUINTANEIRO, T. O mercado farmacêutico brasileiro e o esforço de Guerra norte-americano. **Estudos Históricos**, n.29, p. 141-164, 2002.

RAKESTRAW, N. W. Chemical education – Then and now. **Journal of Chemical Education**, v. 35, n. 1, p. 18-20, 1958.

REINER, R.; PIERSON, R. Hacking's experimental realism: an untenable middle ground. **Philosophy of Science**, v. 62, n. 1, p. 60-69, 1995.

RINENART, H. W. Educating for industry's needs. **Journal of Chemical Education**, v. 24, n. 8, p. 386, 1947.

ROBERTSON, G. R. Jobs for graduates in chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 17, n. 6, p. 386, 1940.

ROSSI, P. **Francis Bacon** – Da magia à ciência. Londrina: Eduel, 2006.

RUSSELL, J. B. **Química geral**. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, 1981.

SANGER, M. J. Using particulate drawings to determine and improve students' conceptions of pure substances and mixtures. **Journal of Chemical Education**, v. 77, n. 6, p. 762-766, 2000.

SANTAELLA, L. **O que é semiótica?** São Paulo: Brasiliense, 1983.

_____. **A teoria geral dos signos**. São Paulo: Pioneira, 2000.

_____. **Matrizes da linguagem e pensamento**: sonora, visual, verbal. São Paulo: Iluminuras, 2001.

_____. **O método anticartesiano de C. S. Peirce**. São Paulo: Editora UNESP, 2004.

_____. **Semiótica aplicada**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

SANTOMÉ, J. T. Libros de texto y control Del currículum. **Cuadernos de Pedagogía**, n. 168, p. 50-55, 1989.

SANTOS, W. L. P. Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. **Revista Brasileira de Educação**, v. 12, n. 36, p. 474-550, 2007.

SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M.; SERRANO, A. Uso do software *Dicewin* na química geral. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 3, n.1, p. 58-69, 2003.

SCERRI, E. R. Philosophy of chemistry: a new interdisciplinary field? **Journal of Chemical Education**, v. 11, n. 20, p. 522-525, 2000a.

_____. Realism, reduction and the “intermediate position”. In: BHUSHAN, N.; ROSENFELD, S. (Ed.). **Of minds and molecules**: new philosophical perspectives on chemistry. New York: Oxford University Press, 2000b, p. 51-72.

_____. The ambiguity of reduction. **Hyle**, v. 13, n. 2, p. 67-81, 2007.

SCERRI, E. R.; MCINTYRE, L. The case for the philosophy of chemistry. **Synthese**, v. 111, p. 213-323, 1997.

SCHUMMER, J. Die Rolle des Experiments in der Chemie. In: JANICH, P. (Ed.). **Philosophische Perspektiven der Chemie**. Mannheim: Bibliographisches Institut, 1994, p. 27-51.

_____. Physical chemistry: neither fish nor fowl? In: JANICH, P.; PSARROS, N. **The autonomy of chemistry**. Würzburg: Königshausen & Neumann, 1998, p. 135-148.

_____. The philosophy of chemistry. **Endeavour**, v. 27, n.1, p. 37-41, 2003.

_____. Why do chemists perform experiments?. In: SOBCZYNSKA, D.; ZEIDLER, P.; ZIELONACKA-LIS, E. (Ed.). **Chemistry in the philosophical melting point**. Frankfurt: Peter Lang, 2004, p. 395-410.

_____. Philosophy of chemistry. In: BORCHET, D. M. (Ed.) **Encyclopedia of Philosophy**. 2nd. ed. New York: Macmillan, 2006.

SEMG – SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO DE MINAS GERAIS. **Currículo básico de ciências**: Química – Ensino médio, 2007.

SHWARTZ, Y.; BEM-ZVI, R.; HOFSTEIN, A. The importance of involving high-school chemistry teachers in the process of defining the operational meaning of 'chemical literacy'. **International Journal of Science Education**, v. 27, n. 3, p. 323-344, 2005.

_____. The use of scientific literacy taxonomy for assessing the development of chemical literacy among high-school students. **Chemical Education: Research and Practice**, v. 7, n. 4, p. 203-225, 2006.

SIENKO, M. J. **Química**. 2. ed. São Paulo : Nacional, 1968.

SILVA, J. C.; MOTA, J. M. V.; WARTHA, E. J. Inscrições químicas em livros didáticos de química: uma análise semiótica das representações sobre fases da matéria. **REnCiMa**, v. 2, n. 1, p. 69-80, 2011.

SIERRA, B. L. H.; MOREIRA, M. A.; SOUZA, C. M. S. G. El texto escolar de química como mediador en la enculturación y sus posibles contribuciones a la ecología representacional: un estudo preliminar. **Enseñanza de las Ciencias**, n. extra, p.1-5, 2005.

SILVEIRA, L. F. B. Charles Sanders Peirce e a contemporânea filosofia da ciência: uma difícil conversação. **Trans/Form/Ação**, v. 16, p. 63-82, 1993.

SJÖSTRÖM, J. Towards *bildung*-oriented chemistry education. **Science & Education**, 2011.

SLABAUGH, W. H. ; PARSONS, T. D. **Química geral**. Rio de Janeiro: LTC, 1977.

SMITH, K. J.; METZ, P. A. Evaluating student understanding of solution chemistry through microscopic representation. **Journal of Chemical Education**, v. 73, n. 3, p. 233-235, 1996.

SOUSA, A. T. **Curso de História da Medicina – Das Origens ao Século XVI**. 2. ED. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.

SOUZA, K.A.F.D. **O ensino universitário de Química em descompasso**: dificuldades de futuros professores na construção do pensamento químico. 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química de Araraquara, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2007.

SOUZA, K. A. F. D.; CARDOSO, A. A. O entendimento das ligações químicas além das palavras. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, XIII., 2006, Campinas, SP, Brasil. **Anais ...** Campinas: FE/UNICAMP, 2006.

_____. Aspectos macro e microscópicos do conceito de equilíbrio químico em sala de aula. **Química Nova na Escola**, n. 27, 2008, p. 51-56.

_____. A formação em química discutida com base nos modelos propostos por estudantes de pós-graduação para o fenômeno de dissolução. **Química Nova**, v. 32, n. 1, 2009, p. 237-243.

_____. Reflexiones sobre el papel de la contextualización en la enseñanza de las ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 28, n. 2, p. 275-284, 2010.

SOUZA, K. A. F. D.; PORTO, P. A. Elementos da semiótica peirceana na educação em química. In: ENCONTRO NACIONAL DE QUÍMICA, XV., 2010, Brasília, DF. Brasil. **Anais ...** Brasília: Universidade de Brasília, 2010. Disponível em <<http://www.xveneq2010.com.br/resumos/R1052-1.pdf>> Acesso em 12 jul. 2010.

_____. Chemistry and chemical education through text and image: analysis of twentieth century textbooks used in Brazilian context. **Science & Education**, v. 21, n. 5, p. 705-727, 2012.

SOUZA, K. A. F. D.; MATE, C. H.; PORTO, P. A. História do uso do livro didático universitário: o caso do Instituto de Química da Universidade de São Paulo. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 4, p. 873-886, 2011.

STEUP, M. Epistemology. In: ZALTA, E. N. (Ed.) **The Stanford encyclopedia of philosophy**, 2010. Disponível em <<http://plato.stanford.edu/archives/fall2010/contents.html>>. Acesso em 15 mai. 2012.

STJERNFELT, F. Diagrams as centerpiece of a peircean epistemology. **Transactions of the Charles S. Peirce Society**, v. 36, n. 3, p. 357-384, 2000.

STJERNFELT, F. **Diagrammatology**. The Netherlands: Springer, 2007.

STRONG, L. E.; BENFEY, O. T. Chemical concepts and the college chemistry curriculum. **Journal of Chemical Education**, v. 35, n. 4, p. 164-167, 1958.

TAMRES, M.; BAILARD, Jr. J. C. The course in general chemistry. **Journal of Chemical Education**. v.29 , n.5 , p. 217-219, 1952.

TEIXEIRA, M. J. **Noções de química geral**. 6. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1904.

TOTA, A. P. **O imperialismo sedutor: a americanização do Brasil na época da segunda guerra**. São Paulo: Companhia das Letras, 2000, 235p.

TREAGUST, D.; CHITTLEBOROUGH, G.; MAMIALA, T. The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. **International Journal of Science Education**, v 25, n.11, p. 1353-1368, 2003.

TROOST, L. **Compendio de química**. 29. ed. Rio de Janeiro: H. Garnier, 1901.

VIENNOT, L. Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics. **European Journal of Science Education**, v. 1, n. 2, p. 205-222, 1979.

VIHALEMM, R. The autonomy of chemistry: old and new problems. **Foundations of Chemistry**, v. 13, n. 2, p. 97-107, 2011.

VOLLMER, S. H. Space in molecular representation; or how pictures represent objects. In: BAIRD, D.; SCERRI, E.; McINTYRE, L. (Ed.) **Philosophy of Chemistry**. Dordrecht: Springer, 2006. p. 293-308.

WESTPHAL, M.; PINHEIRO, T. C. A epistemologia de Mario Bunge e sua contribuição para o ensino de ciências. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 585-596, 2004.

WHITE, A. H. Chemical industry and the curriculum. **Journal of Chemical Education**. v. 8 , n. 10 , p. 2016-2022, 1931.

WILLARD, F. W. What industry wants of its chemists. **Journal of Chemical Education**, v. 14, n. 6, p. 263, 1937.

ZUO, J. M.; KIM, M.; O'KEEFFE, M.; SPENCE, J.C.H. Direct observation of d-orbital holes and Cu-Cu bonding in Cu₂O. **Nature**, n. 401, p. 49-52, 19