

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE EDUCAÇÃO

WALDMIR NASCIMENTO DE ARAUJO NETO

**Formas de uso da noção de representação estrutural
no Ensino Superior de Química**

São Paulo

2009

WALDMIR NASCIMENTO DE ARAUJO NETO

**Formas de uso da noção de representação estrutural
no ensino superior de química**

Tese apresentada à Faculdade de Educação da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Educação.

Área de concentração: Ensino de Ciências e
Matemática
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Giordan Santos

São Paulo
2009

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo

378.3054 Araujo Neto, Waldmir Nascimento de
A663f Formas de uso da noção de representação estrutural no ensino superior de química / Waldmir Nascimento de Araújo Neto ; orientação Marcelo Giordan Santos. São Paulo : s.n., 2009.
228 p. il., tabs.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Educação. Área de Concentração : Ensino de Ciências e Matemática) - - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.

1. Vygotsky, Lev Semenovich, 1896-1934 2. Cassirer, Ernst, 1874-1945
3. Química – Estudo e ensino 4. Ensino superior 5. Molécula –
Representação 6. Semiótica - Química I. Santos, Marcelo Giordan, orient.

Waldmir Nascimento de Araujo Neto

Formas de uso da noção de representação estrutural no Ensino Superior de Química

Tese apresentada à Faculdade de Educação da
Universidade de São Paulo para obtenção do título de
Doutor em Educação.
Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática

Aprovada em 27 / 03 / 2009

Banca Examinadora

Prof. Dr.: Marcelo Giordan Santos (Orientador)

Instituição: FE – USP

Assinatura: _____

Prof. Dr.: José Glauco Ribeiro Tostes

Instituição: LCQI – UENF

Assinatura: _____

Prof. Dr.: Eduardo Fleury Mortimer

Instituição: FAE – UFMG

Assinatura: _____

Prof. Dr.: Paulo Alves Porto

Instituição: IQ – USP

Assinatura: _____

Prof. Dr.: Maurício Pietrocola Pinto de Oliveira

Instituição: FE – USP

Assinatura: _____

*Para
Alice e João
(em memória)*

*Rose, Camila, Carolina
e
Jonathas*

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Marcelo Giordan pela orientação, incentivo, amizade e respeito profissional.

À Rose, Camila e Carolina pelo amor, paciência, compreensão e apoio em todos os sentidos para realização desse projeto de vida.

Aos Professores Drs. Maria Vargas, Joel Jones Júnior, Márcio Contrucci, José Celso Torres e Jerônimo da Silva Costa pela amizade e apoio inestimável para a realização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Maurício Pietrocola pela amizade, conversas e contribuições apresentadas.

Ao Professor Paulo Porto pela colaboração decisiva na organização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Michel Paty pelas lições de Filosofia da Ciência, apresentando-me à Ernst Cassirer.

À Adriana Posso pela ajuda no desenho e realização do quadro metodológico, leitura compreensiva e diversas contribuições ao longo desse caminho.

Aos colegas do Lapeq pela acolhida nesse período. À Lilian Starobinas pelo diálogo incentivador. À Márcia Borin, Luciana Caixeta e Silvia Dotta, pelas conversas serenas e intensa ajuda na reta final.

Aos Colegas do Lapef, Ivã Gurgel e Thaís Forato pelas conversas filosóficas, por sua amizade, e ajuda para minimizar as distâncias da grande São Paulo.

À Professora Dra. Cristiane Gottschalk pela ajuda na formação de uma concepção não-referencial da linguagem.

Aos Drs. Fátima Pinto, Ricardo Nunes e Anderson Santos pelo apoio médico fundamental durante este período.

À Direção do IFRJ (antigo CEFET Química) pelo apoio na realização deste trabalho.

Aos colegas e coordenadores do IFRJ (antigo CEFET Química) pela amizade e compreensão.

Aos colegas e coordenadores do CPV-SINTUFRJ pela ajuda no trato com as elevadas cargas horárias. À Miguel Arcanjo Filho pela amizade e paciência em escutar meus alaridos.

À minha família por compreender as dificuldades desse período.

A todos aqueles que de alguma forma tornaram possível a realização desta tese.

No Fim
No fim de tudo dormir.
No fim de quê?
No fim do que tudo parece ser...,
Este pequeno universo provinciano entre os astros,
Esta aldeola do espaço,
E não só do espaço visível, mas até do espaço total.

Álvaro de Campos
Heterônimo de Fernando Pessoa

Os símbolos parecem ser, por sua natureza, insatisfeitos.

Ludwig Wittgenstein

RESUMO

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

O presente trabalho trata do reconhecimento das formas de uso da noção de representação estrutural no Ensino Superior de Química, interpretando-as à luz de um referencial teórico que relaciona a Mediação Semiótica de Lev Vigotski e a Filosofia das Formas Simbólicas de Ernst Cassirer. O sentido principal dessa relação é oferecer uma função representativa diferenciada para o tema. Procura-se informar sobre a urgência dessa nova função representativa a partir da demarcação do caráter degenerativo que pode ser encontrado em uma revisão das pesquisas sobre educação em química que tratam do tema. A realização combina uma ampla leitura teórica tanto acerca da representação em geral quanto no Ensino de Química, que serve à interpretação de treze episódios obtidos por meio de registros de áudio e vídeo, conseguidos através do acompanhamento de disciplinas em cursos de diferentes universidades e institutos superiores. Os episódios destacam o uso de signos não lingüísticos característicos da representação estrutural em temas da química orgânica e da química inorgânica. Em termos de sua atribuição semiótica, focalizamos nosso olhar na relação entre representante e representado. Destaca-se o caráter inovador de um aporte metodológico que considera o estudo de habilidades espaciais a partir de situações de ensino. A metodologia usada na interpretação dos episódios pressupõe que as diferentes formas de representação estrutural em uso no Ensino Superior de química podem ser qualificadas como ferramentas mediais, portadoras de um conteúdo espacial, que produzem formas simbólicas típicas. Os resultados contribuem para reafirmar o caráter crucial da mediação em situações de uso prioritariamente intralingüísticas, a partir da relação entre ferramentas destacadas como: gráficas, materiais e gestuais. Conclui-se que uma função representativa de uso mais própria para a semiose derivada do ensino da representação estrutural deve ser configurada pela assunção de uma atividade prioritariamente simbólica dos diferentes tipos de signos, em detrimento de seu reconhecimento como ícones, e que considere uma base normativa para sua realização.

Palavras-chave: Ensino de Química, Representação estrutural, Formas simbólicas, Mediação semiótica.

ABSTRACT

ARAUJO NETO, W. N. **Uses of chemical structure representation in undergraduate courses.** 2009. 228 f. Thesis (Doctoral) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

The work deals with the recognition of the different uses of chemical structure representation in undergraduate courses. The theoretical framework is based under the semiotic mediation of Lev Vigotsky and the symbolic forms of Ernst Cassirer. The meaning of this theoretical combination is to provide a new representative function for structure representation. The need of this new way of interpreting the chemical structure representation is addressed by the degenerative character found through a wide revision of the literature. The lack of epistemological and ontological considerations is considered the most related cause for the inappropriate interpretation concerning the studies of chemical representation widespread. The methodology is implemented in disciplines related to the domain of both organic and inorganic chemistry. The episodes selected focalizes the semiotic domain among representative and represented. The study considers a new way of studying spatial abilities, considering class study situations and interpreting the different uses of chemical structure representation as related to graphic, material and gestural tools. The results indicate the prior character of the chemical structure representation as a medial intralinguistic element working in a symbolical meaning rather than an iconic one.

Keywords: Chemistry Teaching, Structure Representation, Symbolic Forms, Semiotic Mediation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Representação estrutural para as moléculas do etanol (A) e do éter metílico (B) e as correspondentes matrizes de ligação (C e D).....	13
Figura 1.2 Representação da seqüência de ligação entre quatro átomos, na qual: (r_1) é a distância da ligação entre A e B; θ_1 é o ângulo entre as ligações A–B e B–C; e ω_1 é o ângulo de torção entre os átomos B e C.....	14
Figura 1.3 Representações estruturais para a molécula da dopamina: (a) bastão; (b) forma explícita.....	15
Figura 1.4 Representações estruturais para: (a) (1S, 2R) 2-metil-ciclohexanol; (b) (1R, 2S) 2-metil-ciclohexanol; (c) (1S, 2S) 2-metil-ciclohexanol e (d) (1R, 2R) 2-metil-ciclohexanol.....	21
Figura 1.5 Representações estruturais de duas moléculas quirais, o traço pontilhado ao centro representa um espelho.....	23
Figura 1.6 Projeções de Newman de um conjunto de estados para a rotação em torno da ligação C2-C3 do butano	24
Figura 1.7 Projeções de cavalete para os estados <i>eclipsado</i> e <i>anti</i> na rotação da ligação C2-C3 do butano.	25
Figura 1.8 Representações de três estados da pseudo-rotação de Berry: (a) molécula na forma bipiramidal trigonal; (b) isômero piramidal quadrático e (c) novamente bipiramidal trigonal. ...	27
Figura 1.9 Representações estruturais para a distorção tetragonal de uma simetria octaédrica. ..	28
Figura 1.10 Representações estruturais para a distorção de um sistema cristalino em simetria prismática trigonal, conduzindo a uma simetria octaédrica.	29
Figura 1.11 Figuras usadas em um manual de química orgânica para tratar do problema da representação.	31
Figura 1.12 Representação do ácido linoleico.	31
Figura 2.1. Os três componentes básicos da “nova química”, segundo Johnstone.	41
Figura 2.2. Modelo de processamento de informação segundo Johnstone e Selepeng.	42
Figura 2.3. Exemplo de explicação acerca da fórmula geral dos alcanos usando sistemas visuais e conceituais da Teoria de Codificação Dual.	52
Figura 2.4. Modelo semiótico de leitura de inscrições químicas.	54
Figura 2.5 Idéia subjacente ao modelo semiótico.	55
Figura 3.1. Projeções de Fisher (A), Newman (B) e cavalete (C) com relação a diferentes aspectos de uma molécula da substância 2-cloro-3-metilpentan-3-ol.	66
Figura 3.2. Tríade representativa em Peirce (2003).	71

Figura 3.3. Representações para o átomo de carbono tetra-coordenado.	73
Figura 3.4: Representação da construção de um triângulo com propriedade peculiar.	74
Figura 3.5. Relações entre as funções das formas simbólicas.	79
Figura 3.6. Diagrama de Tanabe-Sugano para a configuração d^2	87
Figura 3.7. Estruturas octaédricas para os complexos (A) cloro-pentamin-cromo (II) e (B) hexamin-cromo (III).	88
Figura 3.8 Domínios de uso para o signo gráfico da representação estrutural como ferramenta, a partir das considerações de Vigotski e suas relações com as formas simbólicas de Cassirer. ...	89
Figura 3.9. Estruturas para os dois isômeros hipotéticos do dicloro-metano, quando átomos de cloro (Cl) são substituídos em torno de um átomo de carbono (C) com valências perpendiculares e coplanares.	92
Figura 3.10. Representações de van't Hoff para a rotação do eixo entre átomos de carbono.	94
Figura 3.11. Representações estruturais, usando as fórmulas de Crum Brown, para o ácido láctico e o ácido propiônico.	96
Figura 3.12. Representação da síntese do ácido láctico, conduzida em 1859 por Wiscilenus, a partir do 2-cloro-etanol.	96
Figura 3.13. Representação dos isômeros do ácido láctico envolvidos na síntese de Wislicenus, em 1859, segundo a notação de Crum Brown.	97
Figura 4.1 Eixos analíticos do estudo da representação estrutural no ensino superior de química.	109
Figura 4.2 Uma linha.	112
Figura 4.3 Representação estrutural de uma molécula de eteno.	112
Figura 4.4 Ferramenta material em forma simbólica expressiva.	114
Figura 4.5. Representação em bastão (I) e notação de Fischer (II) para o (2R, 3S)-2,3-dibromobutano.	116
Figura 4.6. Representações estruturais sobre o isomerismo <i>cis trans</i> em diferentes substâncias que consideram como conteúdo simbólico a <i>visualização</i> espacial.	121
Figura 4.7. Fragmento do mapa de eventos da disciplina Introdução à Química de Coordenação.	126
Figura 4.8. Fragmento do mapa de eventos com um evento selecionado para a busca de episódios.	130
Figura 5.1 Representações estruturais para a molécula de 2-butanol. Em (II) considera-se a estereoquímica dos ligantes da posição 2 da cadeia carbônica.	138
Figura 5.2 Representações de cubos conforme proposta no episódio um.	139

Figura 5.3 Pontos contidos nos planos de simetria para a estrutura do norbornano em debate no episódio dez.	141
Figura 5.4 Avaliação do plano de simetria proposto pelos alunos no episódio dez.	141
Figura 5.5 Representações em uso no episódio 2 para poliedros de número de coordenação cinco: bipiramidal trigonal (I), (II) e (III), e pirâmide quadrática (IV) e (V).....	142
Figura 5.6. Alinhamento proposto no episódio 2 (turno 14) para duas representações de complexos de número de coordenação cinco, por meio de ferramentas materiais.	144
Figura 5.7 Conteúdos da atividade simbólica em uso durante o episódio 2.	145
Figura 5.8 – Representações gráficas para a conversão entre a forma prismática trigonal (I) e octaédrica (II).	146
Figura 5.9 Representação para modificação no tamanho da cavidade nas formas prismática trigonal e octaédrica em compostos de metais de transição com calcogênios.	147
Figura 5.10 Representação estrutural em bastão do 3-metilbutano com observador assinalado conforme episódio 13 seqüência 1.	148
Figura 5.11 Uma seqüência para os conteúdos da atividade simbólica proposta para uso durante o episódio 13.	149
Figura 5.12 Seqüência para os conteúdos da atividade simbólica em uso durante o episódio 13.	149
Figura 5.13 Relação entre as posições dos ligantes nas duas ferramentas gráficas envolvidas no episódio 13.	152
Figura 5.14 Pseudorotação de Berry.	160
Figura 5.15 Representação estrutural para carbonos em ligação dupla – hibridação sp^2	162
Figura 5.16 Representação estrutural gráfica em uso na atividade do episódio onze.	162
Figura 5.17 Representações estruturais para as propostas dos alunos no episódio onze.	163
Figura 5.18 Relações propostas para as ferramentas em uso na seqüência três do episódio cinco.	170

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Simetrias para os números de coordenação quatro, cinco e seis.	26
Quadro 2.1 – Diferentes atribuições dadas aos vértices do triângulo no Ensino de Química.	48
Quadro 3.1 – Formas de uso do signo na mediação semiótica proposta por Vigotski.	86
Quadro 3.2 – Quadro sinótico para o problema da representação dos isômeros do ácido láctico..	98
Quadro 4.1 – Características que orientam seleção metodológica da categoria ‘forma’	114
Quadro 4.2 – Características que orientam seleção metodológica da categoria ‘ferramenta’	118
Quadro 4.3 – Características das habilidades espaciais a serem consideradas na avaliação da categoria <i>conteúdo</i>	120
Quadro 4.4 – Disciplinas pesquisadas em instituições de Ensino Superior.	123
Quadro 4.5 – Características do item “natureza do evento” para o mapa de eventos.	126
Quadro 4.6 – Características do item “tópicos” para o mapa de eventos.	127
Quadro 4.7 – Características do item “ferramentas” para o mapa de eventos.	128
Quadro 4.8 – Regra de formação da identificação do episódio.	131
Quadro 4.9 – Episódio 10 QGE-29032006-02 – Planos de simetria do norbornano:seqüência 4.	131
Quadro 5.1 – Episódio 03 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e magnetix®.	134
Quadro 5.2 – Atribuições categoriais para as seqüências do episódio três.	135
Quadro 5.3 – Episódio 01 QGE-22032006-08 – Ver no espaço: seqüência 01.	137
Quadro 5.4 – Episódio 01 QGE-22032006-08 – Ver no espaço: seqüência 03.	139
Quadro 5.5 – Episódio 10 QGE-29032006-02 – Planos de simetria do norbornano:seqüência 2.	140
Quadro 5.6 – Episódio 02 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e varetas: seqüência 5.	143
Quadro 5.7 – Episódio 02 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e varetas: seqüência 3.	144
Quadro 5.8 – Características das relações espaciais em uso no episódio dois.	145
Quadro 5.9 – Episódio 06 IQC-05052006-05 – Representações para a estrutura prismática trigonal: seqüência 4.	146
Quadro 5.10 – Episódio 06 IQC-05052006-05 – Representações para a estrutura prismática trigonal: seqüência 6.	147

Quadro 5.11 – Episódio 13 QGE-26042006-05 – Olho de Newman: seqüência 1.	148
Quadro 5.12 – Episódio 13 (QGE-26042006-05) – Olho de Newman: seqüência 2.	150
Quadro 5.13 – Episódio 13 (QGE-26042006-05) – Olho de Newman: seqüência 3.	151
Quadro 5.14 – Episódio 13 (QGE-26042006-05) – Olho de Newman: seqüência 4.	151
Quadro 5.15 – Associações entre ferramentas mediais simbólicas em uso intralingüístico contendo relação espacial.	152
Quadro 5.16 – Episódio 07 IQC-05052006-10 – Isomeria CIS TRANS em complexos octaédricos: seqüência 7.	154
Quadro 5.17 – Episódio 07 IQC-05052006-10 – Isomeria CIS TRANS em complexos octaédricos: seqüência 6.	154
Quadro 5.18 – Episódio 08 IQC-05052006-11 – Isomeria FAC e MER complexos octaédricos MA ₃ B ₃ : seqüência 2.	155
Quadro 5.19 – Episódio 08 IQC-05052006-11 – Isomeria FAC e MER em complexos octaédricos MA ₃ B ₃ : seqüências 5 e 6.	156
Quadro 5.20 – Episódio 04 IQC-05052006-04 – Pseudorotação de Berry: seqüência 1.	159
Quadro 5.21 – Episódio 04 IQC-05052006-04 – Pseudorotação de Berry: seqüência 2.	159
Quadro 5.22 – Episódio 11 QGE-10052006-02 – Função da base normativa – isomeria CIS TRANS: seqüência 7.	161
Quadro 5.23 – Episódio 11 QGE-10052006-02 – Função da base normativa – isomeria CIS TRANS: seqüência 3.	163
Quadro 5.24 – Episódio 11 QGE-10052006-02 – Função da base normativa – isomeria CIS TRANS: seqüência 8.	166
Quadro 5.25 – Episódio 11 QGE-10052006-02 – Função da base normativa – isomeria CIS TRANS: seqüência 9.	167
Quadro 5.26 – Episódio 02 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e varetas: seqüência 1.	168
Quadro 5.27 – Episódio 12 QGE-26042006-05 – Geometria e orbitais no caso dos alenos: seqüência 1.	169
Quadro 5.28 – Episódio 05 (IQC-05052006-05) – Representações para a estrutura octaédrica: seqüência 3.	170
Quadro 5.29 – Episódio 09 IQC-12052006-03 – TCC – Campo octaédrico e orientações de orbitais d: seqüência 1.	174
Quadro 5.30 – Episódio 09 (IQC-12052006-03) – TCC – Campo octaédrico e orientações de orbitais d: seqüência 3.	175

SUMÁRIO

1. Introdução	9
1.1. Epistemologia e conhecimento sobre a estrutura	12
1.2. A ontologia e o ser dinâmico-tridimensional da representação	18
1.3. O problema da representação e a proposição de uma função representativa	29
2. Revisão da literatura	38
2.1. Problemas de representação no ensino de química	40
2.2. Aproximações para uma semiótica da química	50
2.3. Formas de representação e visualização espacial no ensino de química	57
3. Fundamentação Teórico-Filosófica	63
3.1. Relações entre as coisas e seus representantes	64
3.2. Em defesa da atividade simbólica do signo gráfico da representação estrutural	70
3.3. Uma Filosofia das Formas Simbólicas para a Química	76
3.4. Signo como ferramenta medial simbólica na Química	82
3.5. Aspectos filosóficos da representação na química	91
3.6. Proposições para a ontologia do ente químico e as implicações para sua representação	101
4. Metodologia para a investigação empírica	108
4.1. Estrutura de análise	108
4.1.1. Formas simbólicas em situações de uso da representação estrutural	110
4.1.2. Ferramentas em uso medial simbólico	115
4.1.3. Habilidades espaciais como conteúdo da atividade medial simbólica	119
4.2. Contexto empírico	122
4.3. Orientações para a construção da unidade de análise	125
4.3.1. Ferramentas analíticas: construção de mapas de eventos	125
4.3.2. Critérios para a construção de episódios	129
5. Resultados da investigação empírica e discussão	133
5.1. Conteúdo da atividade simbólica	136
5.2. Diferentes modos de usos de Ferramentas mediais	147
5.3. Formas simbólicas	157
5.3.1. O uso de formas simbólicas expressivas	158
5.3.2. O uso de formas simbólicas representativas	164
5.3.3. O uso de formas simbólicas significativas	171
6. Considerações finais	177
7. Referências	183
Apêndice A	194
Apêndice B	213
Apêndice C	221

1 INTRODUÇÃO

A representação estrutural é uma atividade constituída historicamente na evolução da química a partir de meados do século XIX, que se destina à criação e à utilização de signos em processos de comunicação e em heurísticas com o objetivo de previsão das características das propriedades dos diferentes objetos¹ com os quais a Química se ocupa, sejam eles existentes ou não. Conhecer e entender as diferentes formas gráficas de representação estrutural são habilidades que começam a ser desenvolvidas no Ensino Médio e se estendem pelo Ensino Superior de Química. Além das formas gráficas de representação estrutural, podemos encontrar com os mesmos objetivos, tanto na prática dos químicos quanto dos membros das áreas correlatas, por exemplo, o uso de artefatos materiais e de programas computacionais.

Segundo Goodwin (2008) representações estruturais são “onipresentes” (GOODWIN, 2008, p. 117) tanto em textos pedagógicos quanto profissionais. Um dos usos mais freqüentes da representação estrutural reside na comunicação entre iniciados daquilo que se pretende como arranjo entre os átomos nos diferentes tipos de “objetos de estudo da química” (EVANS, 1982, p. 31). Todavia, o uso da representação estrutural transcende a função comunicativa e envolve também heurísticas preditivas e explicativas, dedicadas à criação de ontologias em certas áreas de pesquisa, como por exemplo, a fabricação de novas drogas.

Refletir sobre propriedades a partir de sistemas semióticos de base escrita e elaborar rotas sintéticas inovadoras somente com ajuda de lápis e papel, ainda constituem etapas cruciais não somente nas pesquisas acadêmicas, mas também nos setores de desenvolvimento de grupos comerciais (WIBERG, 2004). A atividade de representação estrutural em sua forma gráfica é ensinada de forma permanente no Ensino Superior de química. Isso ocorre tanto na formação das profissões específicas de química (e.g. bacharelado em química, químico industrial, engenheiro químico, licenciado em química) quanto em outras áreas (e.g. biologia, licenciatura em biologia, farmácia, engenharia de alimentos, engenharia florestal).

Por etimologia o termo representação provém da forma latina *repraesentare*, que significa fazer-se presente ou apresentar-se, manifestar-se de novo, fazer presente alguém ou alguma coisa, inclusive uma idéia, por intermédio de alguém ou objeto (PITKIN, 1972). Fontanier (2007) alega que foi na Roma antiga que o termo encontrou seus primeiros

¹ Os objetos de estudo dos diferentes domínios da química e de disciplinas correlatas: moléculas, complexos, enzimas, etc.

caminhos, intimamente associado com a dimensão política das leis: o rei ou o príncipe age pelo povo romano e decide em seu lugar. A palavra representação também foi considerada em uso para o trato com algumas relações místicas, por exemplo, quando se tratava da maioria dos aspectos não-corpóreos que estavam contidos nos ritos e procedimentos da cristandade. Entretanto, na França medieval o termo *représenter* era usado para imagens e objetos inanimados com a função de criar abstrações, antes mesmo de ser usado para “referir-se a uma pessoa agindo por outra” (PITKIN, 1972, p. 82).

Segundo Branquinho, Murcho e Gomes (2006) a noção mais amplamente difundida de representação, e principalmente ancorada na psicologia, liga-se à faculdade subjetiva de um sujeito tomar conhecimento do mundo ou dos objetos que o rodeiam. Para estes autores apenas em um sentido derivado deste pode-se transitar para o estatuto da representação com uma formulação semiótica: “*a* representa *b* para um sujeito *s*” (BRANQUINHO, MURCHO; GOMES, 2006, p. 689). Os autores destacam que a relação de representação é em última análise um processo mediado. Esse processo medial foi defendido e usado como eixo basilar para o sistema semiótico defendido por Charles Sanders Peirce (1839-1914), o qual estipula, a priori, um interpretante que se relaciona à ordem dos processos mentais. Na opinião dos autores, essa relação da representação com a esfera do psicológico pode ter sido um dos motivos para que a filosofia contemporânea da linguagem tenha desqualificado-a como um conceito operatório para explicar as relações entre mundo, linguagem e mente (BRANQUINHO; MURCHO; GOMES, 2006, p. 690). Todavia, apresentaremos neste trabalho que há outras aproximações filosóficas propondo que esse afastamento pode ser devido a uma tomada de posição imprópria ao sentido original do processo de representação, a desconsideração de sua *função medial simbólica*.

Das diferentes associações propostas ao termo representação como derivadas de processos de mediação em atividades semióticas, podemos assumir também que é prevalente seu entendimento como um processo de substituição. O substituto, ou representante, está envolvido em uma estratégia complexa no qual toma o lugar de algo para alguém (ou para outro algo). Tal carga de complexidade situada no processo de representação contém pelo menos uma circunscrição relevante: o representante deve ser plenamente competente para desempenhar o papel de substituto na representação². Desde os momentos iniciais nos quais

² Segundo Gisnsburg (2001), existe um movimento na atividade do representante entre substituição e mimese (imitação), e esta já se encontra registrada no verbete *représentation* do *Dictionnaire Universel de Furetière* (FURETIÈRE, 1690). Neste dicionário são citados como exemplos típicos de processos de representação da antiguidade, os manequins de cera ou madeira que eram depositados sobre o cadafalso real durante os funerais dos soberanos franceses e ingleses, e o leito fúnebre vazio coberto com um lenço que representava o soberano

se considerou o uso da representação manteve-se bem distinto que esse processo de substituição era de caráter local, o representante atuava substituindo apenas um conjunto de funções e/ou propriedades do representado.

Podemos antecipar que está em uso um processo semelhante na educação química quando se trata da representação estrutural por signos gráficos. A busca por representantes que substituam de forma adequada os entes químicos leva em consideração certas características desses representantes para realizar tal tarefa. A intenção é tornar possíveis predicções sobre um ente químico em estudo, tanto através do conhecimento que cerca a atividade envolvida na busca representativa, quanto por tentativas de adequação ao que se pretende como ontologia do objeto representado. Nesse momento parece-nos próprio qualificar de forma introdutória tais domínios de relação da representação com o conhecimento usado para executar tal atividade, e as características do ser desse objeto ao qual essa atividade se refere.

Nas seções seguintes estaremos interessados na busca de informações que enquadrem de forma introdutória nosso objeto de pesquisa. Posicionaremos nossa apresentação em dois ambientes acerca da representação estrutural: (i) aspectos epistemológicos, nos quais trataremos de recolher evidências sobre o conhecimento da representação estrutural, mostrando como a literatura específica de química e relacionada à representação se defronta com esse tema; (ii) aspectos ontológicos, porque julgamos que essa é uma questão pertinente ao quadro semiótico que envolve o processo de representação, uma vez que queremos nos situar na relação entre representante e representado. Uma vez que desejamos focalizar essa relação por meio de diferentes formas de uso nas diversas semioses em jogo no ensino superior de química, julgamos pertinente caracterizar as posições encontradas nos meios acadêmicos sobre o ente químico do qual trata a representação estrutural. Ao final dessa introdução pretendemos apresentar o ‘problema da representação’ a partir de dois diferentes vieses e organizá-lo para que o leitor consiga perceber a estratégia de busca de nossa pesquisa.

defunto. Nesses casos, a vontade mimética presente no primeiro estava ausente no segundo; mas em ambos falava-se de representações. A substituição e a mimese são processos imperativos na história da representação, mas também se deve registrar que existe muita confluência desse termo com a própria atividade mental em cada sujeito. Nesses casos as formas representativas situam-se em torno do que se costuma chamar também de imaginação. A representação seria o resultado do uso da imaginação. O processo de produção e uso de idéias a criação de substituintes implicava a função ativa da mente para alcançar o que era anteriormente inatingível (PITKIN, 1972, p. 243). Os usos desse último sentido da representação estão muito relacionados ao termo alemão *Vorstellung*.

1.1 Epistemologia e conhecimento sobre a estrutura

De acordo com Eliel e Wilen (1994) as regras de nomenclatura ditadas pela *União Internacional de Química Pura e Aplicada* (IUPAC) não fornecem uma definição inequívoca de *estrutura*³. Uma atribuição comum e utilizada pelos autores provém da cristalografia e considera *estrutura* como “a posição no espaço de todos os átomos que constituem uma molécula” (ELIEL; WILEN, 1994, p. 11).

O signo resultante do processo de representação estrutural é chamado na química de *fórmula estrutural*. Segundo a IUPAC uma fórmula estrutural “fornece informação sobre a forma pela qual átomos em uma molécula ou íon são ligados e organizados no espaço” (LEIGH, FAVRE e METANOMSKI, 1998). Aqueles que praticam química nos dias de hoje consideram crível usar a representação estrutural com o intuito de prever e comunicar a posição e a relação de ligação entre os átomos em uma molécula⁴.

A assunção de que é possível conhecer certa ordem atribuída ao corpo químico e que se manifesta ao sujeito por meio da representação estrutural, ocorre diante da crença numa relação de causalidade entre o domínio ôntico da estrutura desse corpo químico, não acessível diretamente, e o domínio fenomenológico das manifestações sensíveis regulares que podem ser dadas ao sujeito (e.g. cor, aroma, paladar, atividade analgésica, atividade antineoplásica). A responsabilidade atribuída à ordem fenomênica é devida, pelo menos em parte, ao *modus ligandi* dos átomos que constituem o objeto químico, a esse *modus ligandi* chamaremos *estrutura*. Desejamos indicar aqui que fórmula estrutural e estrutura não devem ser consideradas a mesma coisa, por mais que se pretendam isomórficas. A *fórmula estrutural* é uma criação dos químicos, ela responde tanto ao conjunto de convenções acordadas para seu uso quanto ao conhecimento (e.g. teorias, leis, base empírica) que organizam esse uso, não é comum encontrar estratégias de ensino que estejam em desacordo com esse sistema de formulação simbólica, que passaremos a chamar de *base normativa* da representação estrutural. A *estrutura* é algo que pertence ao ente químico e é derivada da sua constituição⁵, os químicos pretendem-na como componente.

³ Wiberg (2004, p.65) assegura que o termo possui “muitos sentidos”, sendo o mais simples associado a conectividade, ou “como átomos se unem para formar uma molécula”. Outro sentido refere-se à “posição exata dos átomos, que podem ser deduzidas por estudos cristalográficos de raios-X, ou técnicas similares”.

⁴ Solomons e Fryhle derivam o termo *estrutura* a partir da chamada *Teoria Estrutural* como uma resposta ao problema do *isomerismo*: “a teoria estrutural remedia essa situação (do isomerismo). Ela faz isso fornecendo-nos diferentes estruturas e diferentes fórmulas estruturais para os dois compostos” (Solomons e Fryhle, 2005, p. 5).

⁵ Quando o termo *estrutura* é usado para referir-se à representação estrutural verifica-se que há necessidade de esclarecimento, justamente no sentido de não confundirem-se ambos. Isso reforça nossa indicação e celebra uma distinção ontológica entre o mundo e sua representação. Em defesa destes argumentos destacamos um trecho da literatura que coloca em evidência uma situação de confronto entre entes químicos no mundo (considerados

A constituição de um ente químico é conotada por três informações: (i) número de átomos presentes; (ii) tipo de átomo presente; (iii) e tipo de ligação feita entre os átomos. Essas três informações podem ser dadas ao sujeito por meio de uma representação estrutural, mas também por outros modos representativos⁶. Na Figura 1.1 apresentamos dois tipos de representações diferentes, mas com o mesmo conteúdo, para as moléculas do etanol e do éter metílico. As figuras 1.1 (A) e (B) são formas gráficas de representações estruturais, e (C) e (D) são matrizes de ligação, nas quais os elementos das matrizes assumem: valor zero para os átomos não ligados, valor um para os átomos com ligação simples, valor dois para os átomos com ligação dupla e valor três para os átomos com ligação tripla⁷.

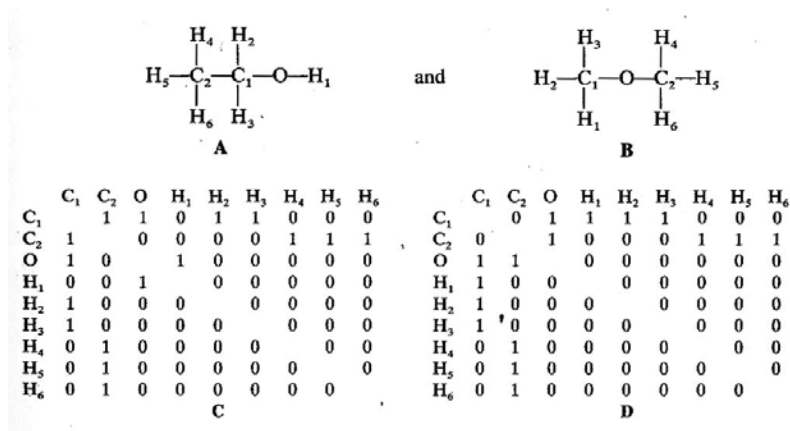


Figura 1.1 Representação estrutural para as moléculas do etanol (A) e do éter metílico (B) e as correspondentes matrizes de ligação (C e D) (ELIEL; WILEN, 1994, p. 15)

Como se observa na Figura 1.1, os signos gráficos da representação estrutural utilizam letras e traços que correspondem, respectivamente, aos átomos e às ligações que participam do objeto químico a ser representado. O conhecimento proporcionado pela representação estrutural a partir das figuras 1.1 (A) e (B) é considerado verdadeiro, segundo o que conhecemos dessas substâncias por meio de suas manifestações, mas incompleto devido à correspondência também verdadeira de que a existência desses entes moleculares necessita de uma organização em três dimensões. Essa característica ontológica do ente químico nos

como o real) e suas representações: “as estruturas de ressonância não são estruturas para a molécula ou íon real; elas existem apenas no papel” (SOLOMONS; FRYHLE, 2005, p. 13).

⁶ É importante destacar que a noção de estrutura se instala nos usos atribuídos aos compostos com ligações de natureza covalente. A noção de ente químico que possui estrutura remete a algo que se constitui de maneira independente e que manifesta certas propriedades quando ocorre de forma coletiva. Vale aqui lembrar que o estado fenomênico do qual trata a pesquisa em química acessa, prioritariamente, essas manifestações coletivas.

⁷ As possibilidades de ligação para um átomo de carbono na química orgânica como simples, dupla ou tripla são derivadas da Teoria Estrutural.

coloca diante da necessidade de uma *adequação de ordem geométrica*⁸ entre a representação e a coisa a ser representada. Isso pode ser resolvido com um movimento representativo que qualificamos como *forma de uso* e está relacionado ao propósito da semiose em um determinado meio de produção. As representações são produtos semióticos que dependem de suas formas de uso, são processos intencionais negociados por uma comunidade que dá garantias e legitima esse processo.

Em termos epistemológicos, queremos dar garantia sobre a verdade do conhecimento que pode ser derivado da representação estrutural, contudo, essa garantia parece ser alcançada somente por restrições de uso dessa representação. Tais restrições ocorrem, por exemplo, como diferentes formas de explicar o ente químico e suas características, e na educação em química essas restrições se configuram como conteúdos didáticos de ensino para representação estrutural.

Nos termos levantados a partir da literatura (ELIEL e WILEN, 1994; ELIEL, WILEN e DOYLE, 2001; ROMERO, 1998; SOKOLOV, 1991), a representação de uma estrutura deve considerar: (i) a natureza dos núcleos dos átomos que participam dela; (ii) a distância (r) entre o centro desses núcleos; (iii) o ângulo (θ) entre as ligações e (iv) o ângulo de torção (ω) considerando que não haja alinhamento entre tais ligações (Figura 1.2).

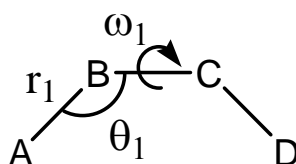


Figura 1.2 Representação da seqüência de ligação entre quatro átomos, na qual: (r_1) é a distância da ligação entre A e B; θ_1 é o ângulo entre as ligações A-B e B-C; e ω_1 é o ângulo de torção entre os átomos B e C.

As técnicas de representação usadas atualmente nas diversas áreas da química herdaram seus traços iniciais do segmento da química orgânica, a qual se destaca como pioneira no uso de signos gráficos para representações estruturais (ARAÚJO NETO, 2007). Muitas das representações estruturais apresentadas em textos didáticos de química de origem alemã, na segunda metade do século XIX, eram referidas como *Vorstellung*⁹. Tal fato se deve

⁸ Segundo a filosofia de Edmund Husserl (HUSSERL, 1962) uma imposição da fenomenologia ao estado representativo.

⁹ Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716) usou o termo alemão *Vorstellung* para tratar de processos de representação na obra *Discurso de metafísica* (1686). A partir dessa síntese outros autores da filosofia alemã retomariam *Vorstellung* como um processo que envolve a participação de funções mentais (PURYEAR, 2006), como por exemplo: Immanuel Kant (1724-1804) na *Crítica da Razão Pura* (1781) e Arthur Schopenhauer (1788-1860) em *O Mundo como Vontade e como Representação* (1818), este último que trata da crítica ao trabalho de Kant. Segundo Inwood (2002), *Vorstellung* compartilha da ambigüidade de outras palavras terminadas em *ung*, podendo significar o ato de representar (*Vorstellen*), ou o que é representado (*Vorgestelltes*). A preposição *vor*

à grande influência de Friedrich August Kekulé (1829-1896) sobre os debates acerca das *fórmulas racionais*, como eram conhecidas as primeiras representações estruturais pelos químicos daquela época (RAMBERG, 2003, p. 23). Nos dias de hoje, uma técnica de representação que recebe bastante atenção no Ensino Superior é a *notação em bastão*¹⁰

Na notação em bastão há prioridade para a representação das ligações entre os átomos de carbono, o que é feito por meio de traços contínuos considerando-se também os ângulos previstos e os tipos de ligações que ocorrem no objeto da representação. Os átomos de hidrogênio ligados aos átomos de carbono e suas ligações podem ficar implícitos e são deduzidos pelo número de ligações faltantes em relação às quatro ligações do carbono. As ligações com átomos diferentes de hidrogênio não podem ficar implícitas e devem ser representadas por traços contínuos conectados ao símbolo do elemento químico correspondente (Figura 1.3 a). Dependendo do que se pretende informar pode-se usar a *forma explícita*, que considera representar todas as ligações e átomos envolvidos (Figura 1.3 b).

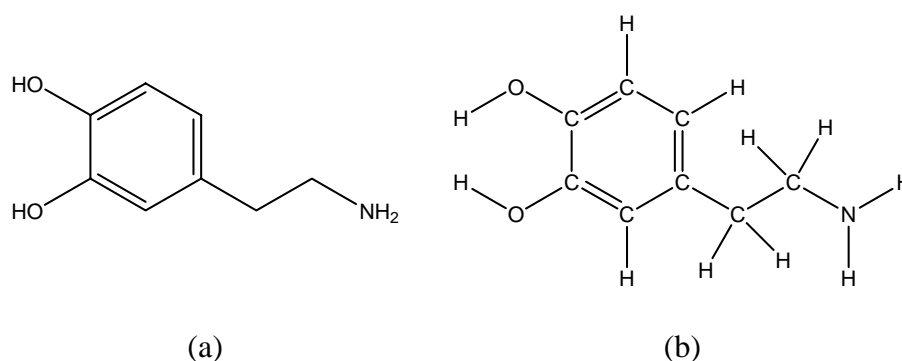


Figura 1.3 Representações estruturais para a molécula da dopamina: (a) bastão; (b) forma explícita.

Mesmo sendo amplamente considerada nos dias de hoje, a possibilidade de um signo gráfico representar a molécula de uma substância qualquer não foi sempre admitida pelos praticantes da química. As primeiras fórmulas estruturais produzidas pela química orgânica e divulgadas ao final do século XIX foram chamadas de *fórmulas racionais*. No século XIX a fórmula racional era uma tentativa de representação da estrutura de um corpo químico¹¹, mas sem considerar que tal estrutura estivesse presente nesse corpo. Não se pretendia correspondência ontológica entre a representação e seu objeto. As fórmulas racionais deveriam ser capazes de auxiliar no entendimento das reações, mas não poderiam conduzir à informação sobre a localização dos átomos. Uma das razões apontadas para essa limitação era

significa “diante, em frente” e Stellen é “localizar [algo], por de pé”. Portanto, *Vorstellen* é “trazer, mover adiante; pôr algo em frente a algo” e, nesse sentido, representar (INWOOD, 2002, p. 93).

¹⁰ Chamada por Solomons e Fryhle (2005) de *fórmulas estruturais de traços* (p. 38).

¹¹ Como eram chamados os entes sobre os quais os químicos debruçavam sua atenção à época. Ainda não estava elaborado o conceito de molécula como unidade autônoma de constituição dos materiais.

técnica e residia na assunção da incapacidade de serem obtidas respostas quanto a estrutura do corpo químico por meio de resultados de reações químicas. Acreditava-se que somente por meio de estudos detalhados das propriedades físicas da molécula é que se poderia chegar a conhecer uma *fórmula constitucional*¹². Para alcançar a estrutura deveriam ser considerados métodos físicos de análise que conseguissem dar ao cientista garantias além da especulação.

Outra razão, colocada tanto por Friedrich August Kekulé (1829-1896) quanto por outros cientistas da época, considerava que a fórmula racional estava condicionada a uma idiosincrasia representativa, não seria conveniente representar a disposição dos átomos no corpo químico por meio de um processo que poderia mudar de acordo com o gosto daquele que fazia uso da representação. A constituição do corpo químico era algo fixo e definido¹³ e não poderia estar sujeito a diferentes formas de representação. A representação se mantinha como uma opção daquele que pretendia comunicar algo. Os cientistas assumiam dois tipos de arranjos para os constituintes da natureza: um *arranjo químico* mutável e dinâmico, derivado daquilo que se poderia deduzir das reações de uma substância; e um *arranjo físico*¹⁴ que correspondia à distribuição dos átomos no espaço e determinante último das propriedades que uma dada substância portava (ARAÚJO NETO, 2007).

As fórmulas racionais proporcionaram à representação uma carga epistemológica menos realista que mantinha o representante afastado de um compromisso com o arranjo real (arranjo físico) do conteúdo do corpo químico. Nas palavras de um membro do programa de pesquisa da química orgânica do século XIX, Alexander William Williamson (1824-1904), as fórmulas mantiveram-se como “imagens atuais do que se supõe racionalmente ser o arranjo dos átomos constituintes de um composto” (ROCKE, 1981, p. 30). Williamson pode ser considerado um cientista que estava disposto a aventurar-se no mar da representação, e defendia uma posição epistemologicamente contrária àquela de outro grande nome da química orgânica do mesmo período, Charles Frédéric Gerhardt (1816-1856). Na perspectiva de Gerhardt qualquer tentativa de relação, em caráter realista, entre o representante e o ente que pretendia estar representando deveria ser tomada como “especulação insuportável” (ibidem). Para os partidários de Gerhardt não havia garantias de que o uso da representação pudesse levar ao progresso no conhecimento em química.

¹² Uma fórmula que revelasse a “verdadeira posição dos átomos na molécula” (RAMBERG, 2003, p. 25).

¹³ Entender que o corpo químico possuía uma constituição fixa e definida havia sido um dos grandes eixos da química do século XVIII.

¹⁴ Ramberg (2003, p. 25) considera como *posição química* e como *posição mecânica*, respectivamente.

Para os químicos a partir da metade do século XIX, o uso da representação estrutural envolve assumir que as diferenças nas características das substâncias dependem da organização (ou do arranjo) dos átomos que as compõem¹⁵. Ainda sem uma resposta definitiva para o problema, Kekulé procura se situar entre o realismo interno¹⁶ de Williamsom e a postura ceticista de Gerhardt. Ele afirma que a determinação do arranjo dos átomos no corpo químico ainda é impossível, e que o químico precisa ter cuidado ao propor respostas à constituição da molécula a partir de resultados das reações. Ao mesmo tempo, Rocke (1993, p. 171) considera que Kekulé acreditava que alguma informação sobre a constituição poderia ser obtida, desde que se renunciasse a uma proposta da organização espacial dos átomos¹⁷.

Um exemplo do potencial explicativo a partir do conhecimento em uso na atividade de representação estrutural, também situado no final do século XIX, é a Teoria das Tensões de Baeyer, publicada em 1885 (IHDE, 1966). Johann Friedrich Wilhelm Adolf von Baeyer (1835-1917) postulou que deveria haver uma “base espacial” (GOODWIN, 2008, p. 121) para os fatos acerca da relativa dificuldade de sintetizar-se anéis menores do que cinco ou maiores do que seis átomos de carbono. Assumindo como base de conhecimento para suas conjecturas os axiomas formais da teoria estrutural e a orientação espacial das ligações do carbono para os vértices de um tetraedro, Baeyer postulou que se as ligações para o carbono sofressem desvios acentuados em relação ao ângulo padrão tetraédrico (considerado 109°) haveria uma tensão desfavorável à formação do anel (GOODWIN, 2008, p. 123). Segundo Goodwin (2008), Baeyer formulou uma maneira de quantificar a tensão nestes anéis usando representações estruturais através de analogias geométricas, e pela primeira vez associou tais arranjos a quantidades de energia, indicando que o anel de cinco membros deveria ser mais favorável sob o ponto de vista energético e que isso deveria ser mensurável por comparações termoquímicas.

¹⁵ Rocke (1993, p. 157) concorda que o argumento central no qual se baseia a teoria estrutural provém da noção de valência química. Também procurei formular essa relação no artigo de Química Nova na Escola (ARAUJO NETO, 2007).

¹⁶ Classificado aqui como a afirmação de uma realidade particular, sob determinado aspecto, entendida a partir de um quadro conceitual determinado (PUTNAM, 1988).

¹⁷ A teoria estrutural encontra uma síntese na proposta dada por Aleksandr Mikhailovich Butlerov (1828-1886), conforme Rocke (1981) nas palavras de Butlerov: “Negamos, juntamente com Gerhardt, a possibilidade de localizar nos dias de hoje as posições dos átomos no interior de uma molécula. Parece-nos bastante obvio que a química, a qual lida com os corpos em um estado de transformação, é impotente para julgar esta estrutura mecânica, enquanto investigações físicas não forem trazidas para dirimir a questão. Por outro lado, estou certo de que ninguém dirá que isso permanecerá dessa maneira mesmo no futuro. Não sabemos ao certo qual a relação existente entre o efeito químico relativo dos átomos em uma molécula e sua posição mecânica. Não sabemos nem como dois átomos que se afetam um ao outro quimicamente estão situados lado a lado em tal molécula” (ROCKE, 1981, p. 63).

Há neste momento inicial, quando se dá o surgimento da atividade de representação estrutural, muitas dúvidas e disputas que propomos encaminhar por meio das seguintes questões: qual é a possível relação entre representante e representado? Como a ontologia do representado deve ser encarada a partir de uma representação? Quais garantias podem ser suficientes para dar à relação entre representante e representado um critério de verdade? Na medida em que são necessárias múltiplas representações para alcançar o ente químico, devemos concordar com uma inviabilidade epistemológica da representação?

A disputa em torno do caráter epistemológico realista localizado no alvorecer da representação estrutural e no interior do programa de pesquisa da química orgânica parece ter sido afastada durante o século XX. Alguns argumentos para explicar essa afirmação, ainda que em caráter introdutório, são encontrados na literatura específica, ou nos manuais usados no Ensino Superior de Química. Eles apresentam que toda representação gráfica em papel é uma aproximação, uma forma incompleta *a priori* para acessar o corpo químico. Isso porque é uma representação estática bidimensional para um objeto que se pretende tridimensional e dinâmico. As soluções de ordem representativa usadas pela química para estas limitações não são inovadoras, pois já estavam dadas de alguma forma na geometria descritiva. Os planos de projeções em diedros e as soluções de perspectivas foram acomodados às formas primárias de representação estrutural em duas dimensões para criar formas específicas de representar. Mesmo assim, qual seja o estatuto epistemológico pretendido pelos químicos para uso em situações de ensino, ele deverá ser colocado em prática pela comunidade nestas situações, e acreditamos que também podem nos fornecer pistas disso as diferentes maneiras que essa comunidade propõe divulgá-la.

1.2 A ontologia e o ser dinâmico-tridimensional da representação

Até aqui temos que a representação estrutural é uma função do conhecimento que se tem sobre as ações causais provocadas pelo objeto que pretendemos representar. Parece razoável pensar que é a causalidade dos objetos da química no mundo que nos permite representá-los, mas isso nem sempre foi admitido como possibilidade para esse tipo de conhecimento. Não se acreditava que a representação gráfica poderia ser um meio de materializar o ente químico, uma forma de criar alguma identidade entre a representação e a coisa.

A identificação do ente químico é uma tarefa por vezes complexa, e novamente estamos lidando com restrições por causa de questões ontológicas. Também para o aprendiz da representação estrutural é uma questão crucial perceber o que é diferente e o que é idêntico, é preciso ter ao alcance das formas representativas de uso maneiras de certificar a identidade de um signo gráfico. A princípio pode parecer muito óbvio, mas não o é para aqueles que estão iniciando o estudo da representação estrutural.

Segundo Seibt (2003) a ontologia se interessa em analisar aquilo que “dizemos que há”, se interessa em analisar as entidades com as quais estamos comprometidos em considerar como existentes. Esse esforço é justificável se desejamos produzir conhecimento verdadeiro sobre tais entidades, e nos parece ainda mais justificável se consideramos necessário criar representações de tais entidades. Nossa defesa aqui é que uma investigação sobre a representação de certos entes deve levar em consideração o entendimento acerca da natureza ontológica desse ente.

Uma questão a ser esclarecida inicialmente é a da identidade ou identificação dos entes químicos. É necessário posicionar a situação de identificação dos entes químicos em relação aos seus representantes, tarefa que encontraremos muito rotineiramente nas situações de estudo que envolvem a representação estrutural no Ensino Superior de Química. À primeira vista o processo de identificação pode nos parecer carente de significado, pois dizer que algo é idêntico a si mesmo acaba por significar tão pouco quanto dizer que algo é um ser. Todavia, Willard Van Orman Quine (1908-2000) considerou possível propor a identidade como um critério do ente. Nas palavras de Quine, se tudo que existe é idêntico a si mesmo, “não existe uma entidade sem identidade” (QUINE, 1981, p. 102). Essas conjecturas propõem à nossa investigação tanto o esclarecimento da identidade do representante quanto do representado.

Crítérios usados na identificação de entes químicos não devem ser adequados à explicação da identidade de uma representação estrutural. Propomos partir de uma definição de *espécie química* para encontrar o que a comunidade de químicos escolhe como marcador da individualidade do ente químico¹⁸. Escolhemos destacar a definição da IUPAC para espécie química:

Conjunto de unidades estruturais atômicas e moleculares idênticas ou de *entidades moleculares* idênticas que podem conter o mesmo conjunto de níveis de energia molecular na escala de tempo do experimento. Por exemplo, dois isômeros conformacionais podem converter-se um no outro devagar o suficiente para serem detectados por seus espectros de ressonância magnética nuclear e então serem considerados espécies químicas diferentes em uma escala de tempo governada pela

¹⁸ Reconheço que definições não são bons caminhos iniciais para aprender-se sobre algo, contudo convido meu leitor a um passeio por essa estratégia que tenta apresentar as convicções estabelecidas ao menos oficialmente para aquilo que estamos estudando.

radiofrequência do espectrômetro usado. Por outro lado, em uma reação química lenta, a mesma mistura de confôrmeros pode se comportar como uma espécie química única, ou seja, existe um equilíbrio populacional quase completo do conjunto de níveis de energia molecular correspondente aos dois confôrmeros. Exceto onde o contexto exige o contrário, o termo refere-se ao conjunto de entidades moleculares contendo isótopos em sua abundância natural (MOSS, 1996, p. 2202).

A partir de uma leitura inicial das formas de uso existentes na literatura em geral sobre representação de espécies químicas, temos que não se recorre a uma certificação instrumental para a atividade com fórmulas estruturais, mas assim se faz para um ente químico. Para a certificação de um ente químico como algo único e idêntico a si mesmo temos que nos submeter ao contexto de relações causais em jogo no momento dessa identificação, e é necessário explicitar a “escala de tempo do experimento” ou melhor a escala de tempo do instrumento que governa a identificação. Nesses termos podemos admitir certo valor instrumentalista para contornar ontologicamente esse objeto. Por derivação imediata deve-se concluir também que há dependência instrumental para o conhecimento dessa coisa, podemos concluir que há uma epistemologia instrumentalista como caminho para o critério verdade entre os químicos.

Parece que estamos diante de novos questionamentos quanto ao processo de representação, agora sob a égide da ontologia. Há necessidade de vínculo instrumental também para a representação estrutural, assim como se propõe a definição do ente químico que se pretende representar? Que tipo de autonomia ontológica percebe uma representação estrutural nas diversas formas de uso que não recorrem ao valor epistemológico instrumentalista? Em nossa investigação será necessário considerar o aspecto dinâmico do ente químico para ter um esclarecimento coerente com o processo semiótico em jogo sob o ponto de vista da relação entre representante e representado.

Além das limitações representativas advindas dos aspectos dinâmicos dos entes químicos, há também como desafio para a representação estrutural a necessidade de transcender a constituição¹⁹ desse ente como uma categoria privilegiada para o reconhecimento de sua identidade. Entes químicos com constituição idêntica podem diferir em sua estrutura, o que lhes proporciona uma nova atribuição enquanto ente. Esse fenômeno é conhecido como isomeria e os isômeros são objetos de permanente exercício para aqueles que aprendem e ensinam representação estrutural. No presente trabalho uma parte da tarefa empírica se encontra com o estudo das formas de uso de representações estruturais que pretendem ajudar no esclarecimento da identificação de isômeros. Esse tipo de atividade é um

¹⁹ O termo constituição aqui denota a quantidade, os tipos de átomos envolvidos no corpo químico e os tipos de ligação que existem entre esses átomos.

ponto crucial na formação inicial dos químicos. Os isômeros trazem para nosso debate a questão da identidade do ente químico, e revelam um esforço na direção de esclarecer como se pode distinguir, por exemplo, uma molécula de outra. Essa ontologia atribuída ao objeto de estudo da química é cercada de influência dos instrumentos de análise usados nas pesquisas da área.

Das diversas situações de estudo com compostos isômeros decorrem os conceitos de *configuração* e *conformação*, que trazem para esta introdução importantes questões com relação ao nosso estudo sobre a representação. Para a IUPAC, *configuração*, “é o termo restrito ao arranjo dos átomos de uma entidade molecular no espaço que distingue estereoisômeros” (MOSS, 1996, p. 2204). Além disso, Solomons e Fryhle (2005) nos informam que estereoisômeros “são compostos que possuem a mesma constituição e que diferem no arranjo dos seus átomos no espaço” (SOLOMONS; FRYHLE, 2005, p. 692).

Todavia, sabemos que estereoisômeros podem ser classificados em enantiômeros²⁰ (estereoisômeros que são imagens especulares entre si), e diastereoisômeros (estereoisômeros que não são imagens especulares entre si). Vamos esclarecer tais relações por meio da Figura 1.4.

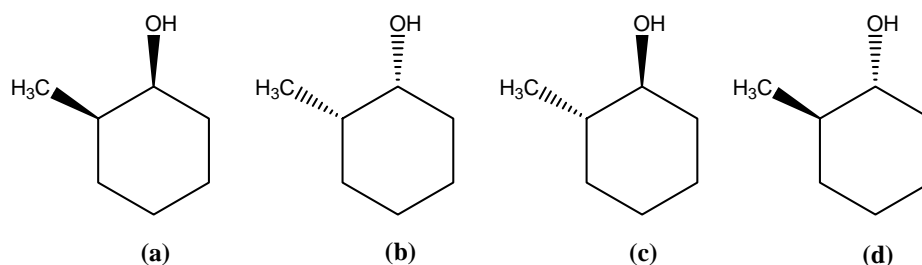


Figura 1.4 Representações estruturais para: (a) (1S, 2R) 2-metil-ciclohexanol; (b) (1R, 2S) 2-metil-ciclohexanol; (c) (1S, 2S) 2-metil-ciclohexanol e (d) (1R, 2R) 2-metil-ciclohexanol

Na Figura 1.4 temos a representação de quatro entes químicos diferentes, todos estereoisômeros entre si. São enantiômeros os pares (a):(b) e (c):(d), pois podem ser associados como imagens especulares. São diastereoisômeros os pares (a):(c); (a):(d); (b):(c); (b):(d), pois não podem ser associados como imagens especulares. Nestas representações estão assinalados elementos que põem em jogo a espacialidade do ente químico representado,

²⁰ Do grego *enantí* que quer dizer oposto. Isômeros óticos são assim chamados, pois são óticamente ativos no sentido que um enantiômero gira o plano da luz polarizada em uma direção e o outro em um ângulo igual na direção oposta.

e nos sugerem que a representação pode ter um papel importante na decisão sobre a identificação de um ente químico, ao menos em situações de ensino.

A cunha é um destes indicadores de espacialidade, a cunha cheia (—) representa uma ligação para frente do plano do papel, e a cunha tracejada (.....) representa uma ligação para trás do plano do papel²¹. Temos quatro entes químicos diferentes porque são quatro as possibilidades de relação de posição entre a hidroxila (OH) e a metila (CH₃) nos carbonos vicinais do ciclohexano.

Podemos inferir que o ente é ontologicamente determinado por uma relação espacial entre ligantes²². Mesmo tendo suas posições relativas determinadas pela combinação de técnicas de detecção permanece o aspecto dinâmico desse ente químico, sua funcionalidade é representada em uma relação espacial entre os ligantes responsáveis por ela.

A identificação de enantiômeros exige certa habilidade espacial que deve ser conquistada por meio de situações de estudo apropriadas durante o Ensino Superior de Química. A identidade de um curso que trata da representação estrutural nos parece ancorada na diversidade de situações que podem ser oferecidas aos iniciantes que estão sendo preparados para fazer uso desta atividade em sua formação profissional. A estratégia na formação de sujeitos habilitados para desempenhar a atividade de representação estrutural considera a inclusão do tema da identificação de enantiômeros durante toda a formação superior, em diferentes disciplinas, isso se dá, em boa medida, pois são entes químicos que possuem elevado interesse de pesquisa.

Além de serem valiosos para os pesquisadores acadêmicos e comerciais, os enantiômeros restringem os possíveis termos de identificação de um ente químico a um único: a espacialidade. Os enantiômeros ocorrem somente em compostos cujas moléculas são quirais²³. Um teste para decidir sobre a não existência de quiralidade em um ente químico é o de identidade por sobreposição. Se dois entes químicos são sobrepostos e formam uma única imagem não apresentam quiralidade²⁴. Na Figura 1.5 tem-se um exemplo de situação de quiralidade.

²¹ No plano do papel estaria contida a estrutura cíclica de seis átomos de carbono.

²² A configuração de um ente químico pode ser determinada com a ajuda de meios instrumentais, nesse caso temos uma *configuração absoluta* que significa “a real distribuição dos átomos no espaço em torno de um centro quiral para determinado enantiômero” (ROMERO, 1998, p. 38). Determiná-la significa saber que este enantiômero tem os seus átomos distribuídos espacialmente de maneira conhecida.

²³ Uma molécula quiral é definida como aquela que não é superponível com a sua imagem. A origem do termo está relacionada ao grego *cheria* que quer dizer mãos. As nossas mãos são quirais pois sua sobreposição não pode gerar uma imagem idêntica (ELIEL e WILEN, 1994, p. 4).

²⁴ Termo referido por Louis Pasteur (1822-1895) em 1860 como dissimetria (ELIEL e WILEN, 1994, p. 72).

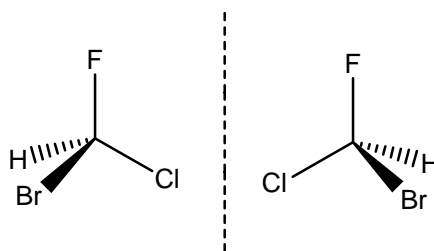


Figura 1.5 Representações estruturais de duas moléculas quirais, o traço pontilhado ao centro representa um espelho.

Compostos quirais também podem ser encontrados na química inorgânica que adota o mesmo critério da química orgânica para identificação dessa classe de entes. Para Shriver e Atkins (2003, p. 252) um complexo quiral é um composto de coordenação que

[...] não é superposto em sua própria imagem especular. A existência de um par de complexos quirais que são imagem especular um do outro (como as mãos esquerda e direita), e que tem tempo de vida longo o suficiente para serem separados, é chamada de isomeria ótica.

O caráter espacial de arranjo dos átomos também prevalece no domínio dos entes da química inorgânica, onde o conceito de simetria ganha uma vasta extensão de uso. Na verdade, as situações de ensino dos cursos iniciais no Ensino Superior de Química consideram tanto a noção de hibridação quanto as relações de simetria para a derivação de processos heurísticos que estão ancorados na representação estrutural, para o estudo das propriedades dos entes químicos. Em ambos os domínios da química que destacamos nesta introdução não há despeito por esse caráter heurístico, e suas implicações são consideradas a partir da noção de simetria e de seu tratamento sistemático que é chamado de *Teoria de Grupo*. Segundo Shriver e Atkins (2003) o critério formal de quiralidade é a ausência de um elemento de simetria, o chamado *eixo de rotação impróprio*. Sua existência é indicada pela determinação de um plano especular através do átomo central de uma estrutura, considerado como *centro de inversão*. Caso qualquer desses elementos esteja presente a molécula não é considerada quiral. De fato, a presença de qualquer eixo de simetria (S_n) implica a inexistência da quiralidade (SHRIVER; ATKINS, 2003, p. 149).

Classes de eventos e de estados bastante sofisticados, sob o ponto de vista da natureza ontológica inerente ao ente químico, podem ser destacadas no interior da rede de interesse de estudo da química orgânica, como por exemplo, situações que necessitam de análise em termos da conformação desse ente. Segundo a IUPAC conformação é “o arranjo espacial de átomos que proporciona distinção entre estereoisômeros que podem converter-se por rotações de ligações simples” (MOSS, 1996, p. 2204).

Devemos encarar a conformação como um predicado de muitos entes químicos, se houver uma ligação simples haverá conformação²⁵. Os entes que podem assumir estados de conformação diferentes são considerados pela IUPAC como estereoisômeros. Os estereoisômeros em situação de conformação que admitem valores mínimos de energia potencial são chamados *confôrmeros* (MOSS, 1996, p. 2204). Caso a rotação em torno da ligação simples seja restrita por algum motivo (e.g. impedimento estéreo) tem-se um outro tipo de ente com predicado de conformação, os quais são chamados *rotâmeros* (MOSS, 1996, p. 2217). A situação dos confôrmeros e dos rotâmeros coloca em jogo de forma definitiva a necessidade de múltiplas formas gráficas de representação para o alcance destes entes. Essas diferentes formas de se aproximar do ente são conhecidas como projeções²⁶. Vamos procurar exemplificar a situação dos confôrmeros por meio do uso das projeções de Newman, conforme a Figura 1.6.

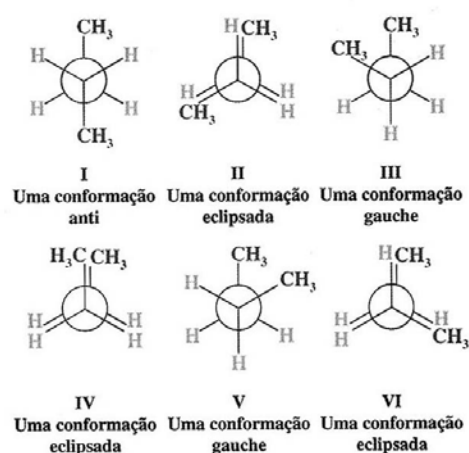
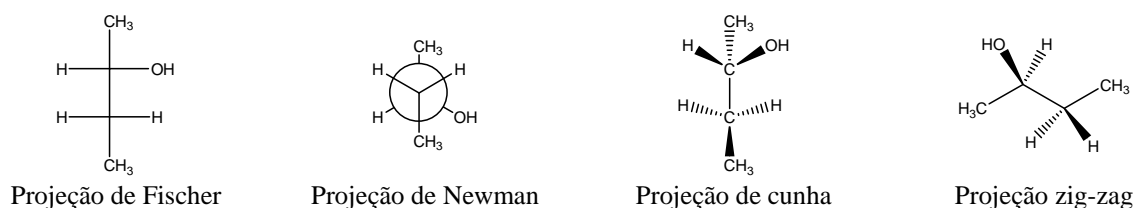


Figura 1.6 Projeções de Newman de um conjunto de estados para a rotação em torno da ligação C2-C3 do butano (SOLOMONS; FRYHLE, 2005, p. 148)

²⁵ A origem da análise conformacional e do entendimento do caráter dinâmico do ente químico é associada ao estudo de Hermann Gottfried Sacke (1862-1942) sobre o ciclohexano em 1890 (RAMBERG, 2003, p. 334). Por outro lado, Mary Jo Nye considera que somente com a emergência disciplinar da físico-química em 1920 o estado dinâmico do ente químico pode ser assumido, quando tornaram-se indistinguíveis as noções anteriores de molécula química e molécula física (NYE, 1989, p.462).

²⁶ De acordo com a IUPAC uma projeção é uma representação bidimensional de uma estrutura tridimensional, obtida por projeção de ligações (simbolizada por linhas) em um plano com ou sem designações das posições dos átomos relevantes e de seus símbolos. Uma fórmula de projeção que indica o arranjo espacial de ligações é chamada fórmula estereoquímica ou estereofórmula. Exemplos de estereofórmulas são: projeção de Fischer, projeção de Newman, projeção de cunha e projeção zig-zag (MOSS, 1996, p. 2214). Com o objetivo de exemplificar tais projeções tomemos exemplos para a substância 2-butanol.



Nesse caso considera-se um observador em situação longitudinal à ligação simples que dá origem a diferentes confôrmeros. O observador tem seu ângulo de visão alinhado ao da ligação simples que realiza evento de rotação, alinhado aos dois carbonos que realizam a rotação característica do evento de conformação²⁷. Esse observador deverá ver seis ligantes, três agrupados ao carbono da frente e três agrupados ao carbono de trás.

A representação de confôrmeros coloca a necessidade de novos ‘tipos de signos’ para adequação ao que se pretende com a ontologia do representado. A característica de rotação em torno da ligação simples pode ser representada de formas gráfica pelo uso da projeção de Newman, mas também pela projeção de cavalete, conforme indicamos na Figura 1.7.

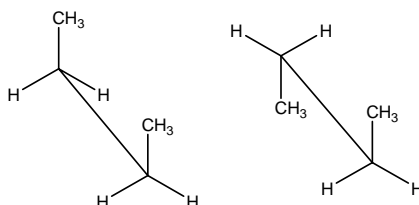


Figura 1.7 Projeções de cavalete para os estados *eclipsado* e *anti* na rotação da ligação C2-C3 do butano.

Confôrmeros apresentam um problema especial na relação entre o representante e o representado, em termos da base instrumentalista que a química defende como legitimadora de seus objetos de estudo: oferecem muita dificuldade para serem detectados em sua singularidade pelos instrumentos de análise disponíveis. As respostas instrumentais obtidas para a detecção de substâncias que possuem propriedade conformacional consideram, na maioria das vezes, algo chamado de “ambiente médio” (SOLOMONS; FRYHLE, 2005, p. 387). A resposta de um ambiente médio para o problema instrumental de singularidades ontológicas coloca o processo de representação estrutural pelo menos um passo à frente do conjunto de técnicas de detecção. Temos nesse caso bons indícios de que podemos inferir de maneira eficiente e com razoável verossimilhança, por meio de heurísticas derivadas do processo de representação estrutural, ontologias que não podem ser alcançadas pelo critério de necessidade instrumental disposto pela comunidade dos químicos.

Podemos nos perguntar se a variedade de signos em um processo de representação tem algo a ver com a tentativa de perseguir o que não é detectável em sua singularidade. Seria esta necessidade implicada por ordem epistemológica, ou ontológica? Como a criação de ferramentas representativas proporciona o conhecimento desse ente? Procuramos indícios

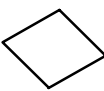





²⁷ Os confôrmeros também são chamados de rotâmeros

para essas respostas ao estudar as relações entre diferentes formas de representação dos compostos de coordenação na química inorgânica.

Quando a noção de estrutura toma para si diferentes formas de uso na química de compostos de coordenação, por exemplo, a ordem estérea se modifica e o escopo de avaliação da estrutura é reunido ao de reconhecimento de uma topologia, e nesse caso as atividades de representação passam a priorizar o entendimento acerca dos poliedros associados a diferentes números de coordenação. Um composto de coordenação é entendido como um átomo metálico central rodeado por uma série de ligantes. Um ligante é um íon ou uma molécula que pode ter “existência independente” (SHRIVER; ATKINS, 2003, p. 239). O chamado *número de coordenação* de um composto de coordenação é uma das características que permitem organizar esses entes químicos com relação a suas diferentes estruturas, ele corresponde ao número de pontos de contato dos ligantes em relação ao átomo central.

Os números de coordenação podem variar de dois a doze e implicam um conjunto de simetrias e arranjos topológicos para complexos, as possibilidades de simetrias para alguns números de coordenação são apresentadas no Quadro 1.1.

Quadro 1.1 – Simetrias para os números de coordenação quatro, cinco e seis.

Números de coordenação (NC) e suas respectivas simetrias					
NC = 4		NC = 5		NC = 6	
					
Quadrática plana	Tetraédrica	Bipiramidal trigonal	Piramidal quadrática	Octaédrica	Prismática trigonal

As questões de arranjo também são afetadas pela dinamicidade do ente químico no domínio dos complexos, o que nos conduz a outras implicações ontológicas que verificaremos em uso em nossas situações empíricas de estudo. Para um mesmo número de coordenação, e para um complexo com a mesma constituição podemos encontrar dois arranjos, dois poliedros possíveis que podem inclusive converterem-se um no outro. Um exemplo dessa situação é a Pseudo-rotação de Berry (BERRY, 1960) para complexos de número de coordenação cinco, na qual a topologia bipiramidal trigonal converte-se em uma topologia piramidal quadrática e retorna a topologia bipiramidal trigonal em um estado de rotação associada àquela primeira. Um exemplo de complexo que desenvolve esse estado dinâmico é o complexo neutro pentacarbonilferro $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$, para o qual usamos a representação da Figura 1.8.

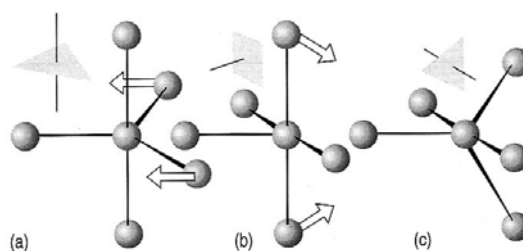


Figura 1.8 Representações de três estados da pseudo-rotação de Berry: (a) molécula na forma bipiramidal trigonal; (b) isômero piramidal quadrático e (c) novamente bipiramidal trigonal (SHRIVER; ATKINS, 2003, p. 244).

No evento dinâmico da pseudo-rotação de Berry os ligantes inicialmente em posições equatoriais passam para a posição axial, e os entes são considerados isômeros. A respeito dessa situação deve-se ter em conta que nenhum tipo de semiose pretende (ou não deveria pretender) completude representacional. Ainda que possamos algumas vezes superar aquilo que é oferecido por instrumentos técnicos de elevada capacidade de detecção, muitas formas de representação nos remetem a uma ‘restrição no tempo’, não posso ter o contínuo do tempo, característica ontológica de um evento dinâmico, completamente nesta semiose. Isso nos sugere que se devemos perseguir um propósito representativo, se temos uma intenção, de alcançar a ontologia que acreditamos existir em determinadas situações de entes químicos, podemos nos movimentar para outros meios de produção simbólica, como desejamos mostrar nesta tese, para novas ferramentas simbólicas. Assim temos que a relação entre conhecimento e ontologia desse ente químico que desejamos representar pode nos remeter a novos meios e modos semióticos, pode criar certos tipos de implicações para o processo de representação estrutural.

A movimentação para novos meios de produção simbólica parece-nos uma demanda quando intencionamos a apropriação de eventos dinâmicos característicos dos entes químicos. Para isso já vimos que a comunidade dos químicos considera válida a criação de novas formas gráficas representativas tais como as diferentes projeções da química orgânica. Mas certos aspectos ontológicos podem exigir outros tipos de modificação, e para prosseguir em nossa tentativa de entender isso vamos tomar mais um exemplo de distorção topológica em uso nas situações de estudo da química inorgânica.

A simetria octaédrica é a mais comum para os compostos de coordenação hexacoordenados. O arranjo dos ligantes é um octaedro regular, mas tem-se que ligantes diferentes podem conformar distorções nesse octaedro inicial. Um desses efeitos de distorção

é conhecido a partir do Teorema de Jahn-Teller²⁸ que prevê modificações em um sistema octaédrico original em função do movimento das arestas ou das faces, que podem ser provocadas pela ação de ligantes em determinada posição absoluta no poliedro. A distorção mais simples da simetria octaédrica é aquela que leva ao arranjo tetragonal e ocorre quando dois ligantes diferem em relação aos outros quatro ao longo de um eixo do poliedro, conforme procuramos representar na Figura 1.9.

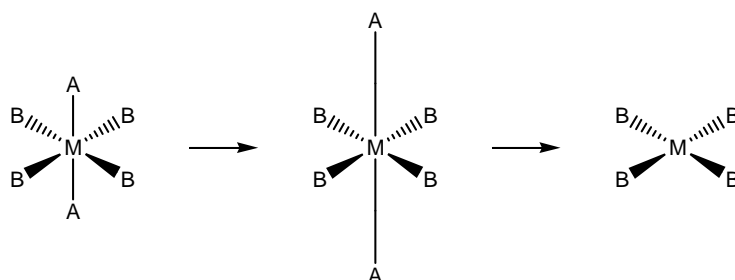


Figura 1.9 Representações estruturais para a distorção tetragonal de uma simetria octaédrica.

Na Figura 1.9 temos uma seqüência de representações estruturais para uma distorção tetragonal de Jahn-Teller, que é conduzida por estiramento do eixo axial que contém dois ligantes A para uma forma tetragonal plana²⁹. Nesse caso propomos uma seqüência representativa que seleciona instantes de tempo que consideramos típicos para o reconhecimento desse evento, mas com recursos simbólicos diferentes daqueles propostos pela literatura conforme a Figura 1.8. Mesmo assim nossa intenção é a mesma: apropriar-se de uma característica ontológica – a dinamicidade do evento de distorção. Para isso escolhemos ‘esticar’ o eixo axial no qual estavam situados os ligantes A, com a intenção de que o interpretante da semiose perceba que a nova topologia é dada pelo afastamento desses ligantes A. Outras escolhas poderiam ter sido levadas em conta, mas consideramos que a nossa é tão portadora de critérios de verdade quanto outras legitimadas pela comunidade, seja por convenções ou pelo conhecimento oferecido na literatura sobre o que estamos representando.

Ainda que tenhamos que permanecer alertas para aquilo que a comunidade toma como instância de controle desse processo, mesmo na divulgação de pesquisas da área encontramos a proposição de ontologias por meio do uso de sistemas semióticos. Por exemplo, vejamos a

²⁸ Em homenagem a *Hermann Arthur Jahn* (1907-1979) e *Edward Teller* (1908-2003) enunciaram que “qualquer molécula não linear num estado eletronicamente degenerado é instável e sofre uma distorção tal que a simetria diminui e é levantada a degenerescência”.

²⁹ O Cobre(II) tende a apresentar distorção tetragonal, complexos com esse centro metálico tendem a assumir esse tipo de situação estrutural.

representação proposta por Kertesz e Hoffmann (1984) para tratar de distorções trigonais em complexos octaédricos, conforme a Figura 1.10.

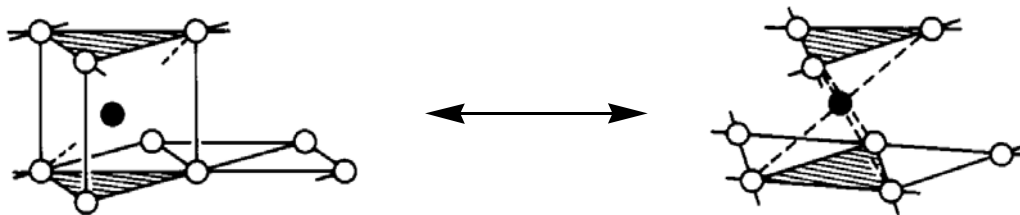


Figura 1.10 Representações estruturais para a distorção de um sistema cristalino em simetria prismática trigonal, conduzindo a uma simetria octaédrica (KERTESZ e HOFFMANN, 1984, p. 3453)

No caso da Figura 1.10, as distorções trigonais em sistemas octaédricos podem conduzir a um prisma trigonal, que também é uma simetria típica do número de coordenação seis. A simetria prismática trigonal pode ser encontrada em complexos nos quais os centros metálicos e/ou os ligantes possuem volumes maiores³⁰. Diz-se para muitos casos em estruturas cristalinas que as estruturas de acomodação sob a forma prismática trigonal pode mudar para a forma octaédrica, sem prejuízos relevantes na quantidade de energia associada a esse tipo de evento.

Podemos perceber que seja para servir como meio de comunicação entre pares, como suporte a uma nova forma de conhecimento, no processo educacional ou na criação de ontologias, a representação estrutural realiza sua tarefa como um processo que procura direcionar o olhar de um interpretante, constitui-se em uma seleção dos múltiplos estados das coisas do mundo em prol de uma intenção. Mas tudo isso não nos pode deixar a impressão de que a representação estrutural é um processo meramente idiossincrático, que segue ao sabor e ao dissabor, algo desregrado e privado. Todavia, não podemos encará-la como uma direção natural inequívoca e unívoca, consequência causal do mundo das coisas. Há necessidade de refletir sobre essas disputas.

1.3 O problema da representação e a proposição de uma função representativa

Fórmulas químicas procuravam inicialmente reunir evidências empíricas e eram criadas para funcionarem como signos apresentando a organização dos átomos em um composto, ou para distinguir entre compostos diferentes com a mesma quantidade e qualidade

³⁰ Exemplos de centros metálicos que orientam um simetria prismática trigonal: zircônio, molibidênio, háfnio e tungstênio.

de átomos. Contudo, rapidamente evoluíram para uma ferramenta de predição e de antecipação de resultados experimentais. A evolução do processo representativo para esse novo status epistemológico deveria despertar a comunidade para a qualidade da semiose em jogo, mesmo assim as discussões nesse sentido não se comprometiam com o tema. Como herança, tem-se atualmente uma variedade de sistemas representativos no ensino de química, nos quais se procura focalizar certos aspectos do corpo químico, tal como uma tomada de posição específica em relação ao objeto que se pretende representar. Gostaríamos de situar neste momento duas estratégias de aproximação com o problema da representação. A primeira considera um caso encontrado num manual didático destinado ao Ensino Superior de Química, em seguida focalizaremos algumas proposições oriundas da pesquisa no âmbito da Filosofia da Ciência concernente ao tema da representação.

Podemos considerar que manuais didáticos exercem uma considerável influência na formação inicial de discentes em cursos superiores, mormente quando são indicados pelos docentes responsáveis em suas disciplinas. Muitas das vezes essas indicações se tornam emblemáticas de grupos e até mesmo de indivíduos que passam a ser representados por meio de suas escolhas bibliográficas. Tanto quanto submetida à idiosincrasia dos docentes responsáveis pelas diferentes disciplinas, tais escolhas remetem a um permanente processo de atualização quanto a novas técnicas e referenciais teóricos nas suas áreas. Portanto, destacar uma bibliografia em uso nos cursos superiores de Química que dedica um capítulo ao nosso tema de estudo parece ser uma boa opção para situar o problema da representação estrutural.

O manual de química orgânica de Clayden et al. (2001) tem em seu segundo capítulo o título “Estruturas Orgânicas” (CLAYDEN et al., 2001, p. 19). Neste capítulo os autores apresentam algumas diretrizes para a atividade de “desenho de moléculas” (ibidem) que incluem: (i) ser tão realista quanto possível, no sentido de que as representações devem considerar os ângulos “reais” que existem nas moléculas; (ii) ser econômico, no sentido de não incluir “detalhes supérfluos” (CLAYDEN et al., 2001, p. 22); (iii) ser claro, no sentido de usar informações relevantes. Os autores dizem que tais considerações são diretrizes e não regras a serem perseguidas indistintamente, e assumem que uma representação estrutural pode ser modificada “dependendo da ocasião” (CLAYDEN et al., 2001, p. 24).

Não discordamos com as diretrizes propostas pelos autores, além disso, a indicação de que uma representação estrutural é um signo que ‘depende da ocasião’ vai ao encontro de nossas escolhas teóricas e recortes metodológicos quanto ao estudo das formas de uso. Contudo, consideramos que há algumas impropriedades na forma de tratar do tema e por isso

é importante destacar o recurso semiótico que os autores selecionam como analogia para uma representação estrutural “econômica”, o qual podemos estudar por meio da Figura 1.11.

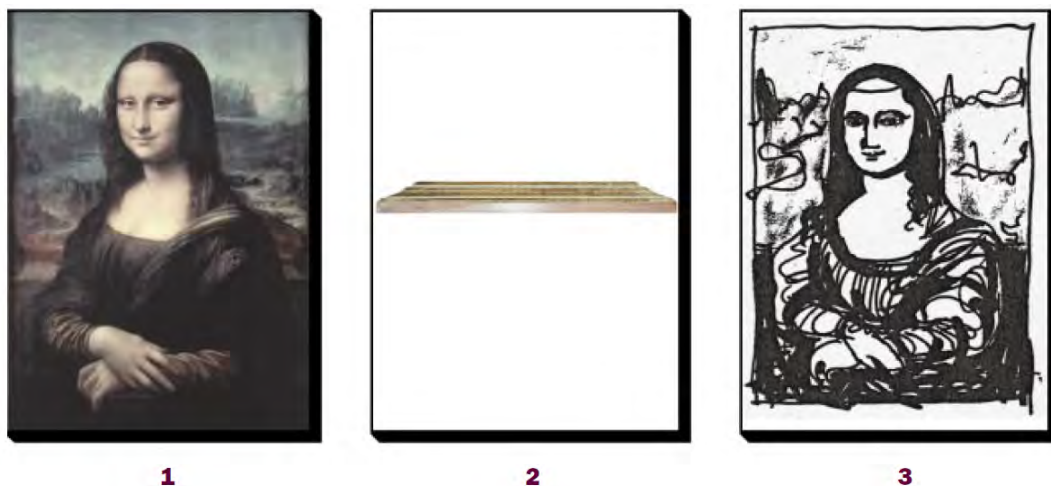


Figura 1.11 Figuras usadas em um manual de química orgânica para tratar do problema da representação (CLAYDEN et al., 2001, p. 22)

Na Figura 1.11 temos uma seqüência de imagens que tratam da obra “Mona Lisa” (1503-1507) do artista Leonardo da Vinci (1452-1519). Os autores preconizam que a representação 1.11 (2) nos informa sobre a representação 1.11 (1), tanto quanto a representação da Figura 1.12 nos informa sobre o ente químico ao qual ela se refere. Esse tipo de relação ou analogia nos remete a uma necessária reflexão sobre o que possa ser a representação no ensino de química, pois discordamos que esse tipo de analogia possa fornecer algum significado próprio em termos do que já apresentamos até aqui sobre a representação estrutural, tanto em sua constituição histórica quanto em seus usos em situações de ensino por meio de manuais didáticos.

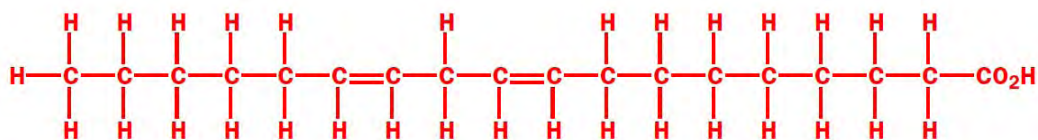


Figura 1.12 Representação do ácido linoleico (CLAYDEN et al., 2001, p. 21)

Os autores defendem que tanto a representação (2) da Figura 1.11 quanto a representação da Figura 1.12 são corretas, mas “inúteis” (CLAYDEN et al., 2001, p. 21). Para Clayden et al. (2001) o que deve ser obtido por meio de um processo de representação estrutural em relação ao ente químico, é algo equivalente ao que se tem entre a Figura 1.11 (3)

e a Figura 1.11 (1). Para os autores, os traços da Figura 1.11 (3) nos conduzem pela idéia do original e incluem os detalhes necessários para reconhecer a pintura, pondo de lado o restante que não interessa. Ainda segundo os autores, outra vantagem da Figura 1.11 (3) em relação ao seu objeto imediato é que ela pode ser “realizada muito mais rapidamente” (CLAYDEN et al., 2001, p. 23).

De fato estamos diante de um sistema de analogias que remetem a alguns aspectos que os autores consideram cruciais para a representação estrutural e consagram o que pretendemos como problema para a representação. Na analogia oferecida pelos autores do livro temos que o objeto imediato pode ser percebido em sua completude e representado aos propósitos de uso dos sujeitos desse processo. Temos para a representação estrutural um problema mais sofisticado devido a uma questão ontológica de partida: os entes que pretendemos representar não estão dados a priori no mundo por meio de sua completude, não estão ao nosso alcance de forma direta e objetiva.

Clayden et al. (2001), assim como outros autores (MCMURRY, 2000), ensejam representações sobre algo real, mas escrevem que representações estruturais fornecem “apenas uma idéia da estrutura real” (CLAYDEN et al., 2001, p. 23). Acreditamos que podemos avançar na discussão sobre a representação para além de tomá-la uma ‘idéia do real’, ou pelo menos tentar esclarecer seja lá o que isso possa significar. Para isso pretendemos nos apropriar da longa discussão sobre a noção de representação que está disponível por meio da Filosofia, precisamos nos aproximar desse tipo de debate para compreender melhor a representação estrutural. Perceberemos que o trabalho envolvido no processo de representação estrutural é muitas das vezes um esforço de criação do objeto, um esforço de objetivação. O objeto é uma conquista da representação. O sujeito que trabalha no processo de representação estrutural está envolvido em um circuito de idas e vindas. Ainda que tenhamos discordado dos recursos de analogia criados por Clayden et al. (2001), encontramos na representação estrutural um processo intencional, como uma seleção, um processo de intervenção no meio circundante do sujeito.

Avançando nas discussões originárias da Filosofia, uma proposição sobre o problema da representação indica que uma de suas dificuldades está colocada na pretensa carga de subjetividade, de certo mentalismo³¹ que para alguns autores não forneceria “base sólida de trabalho” (BRANQUINHO; MURCHO; GOMES, 2006, p. 690). Nesse caso a representação escaparia a possibilidade de atribuir valor de verdade a uma sentença derivada ou predicção,

³¹ No sentido de uma doutrina segundo a qual a mente constitui a realidade, que preexiste e existe independente de manifestações de comportamento.

ela não conduziria a nada mais do que eventualmente aproximar o mais possível a representação do objeto representado, não se podendo falar de uma “verdade total” (ibidem) da representação. Entretanto, defenderemos neste trabalho de tese que tal contorno da representação se torna relevante apenas quando se toma certo projeto epistemológico, que parece não ser o projeto epistemológico que a disciplina química tenha colocado em uso em suas atividades de ensino. Não parece ser razoável dizer que a química concorde com uma desvalorização epistemológica da representação, uma vez que essa noção é parte integrante de seus currículos de formação inicial.

Ainda nesse escopo, destaca-se também o problema da representação conforme colocado por Suarez (2003) através da pergunta: “em virtude de que determinado signo pode ser considerado como representação (ainda que incompleta e inadequada) de um objeto?” (SUAREZ, 2003, p. 226). De fato a pergunta de Suarez (2003) nos interessa como um problema inicial para o estudo de um elemento representativo, seja lá como este possa ser chamado (e.g. símbolo, ícone, representante). O interesse de Suarez (2003) está voltado para algo que denomina “representação científica” (ibidem), e nesse sentido ele rejeita as teses da literatura que propõem naturalizar o processo de representação científica reduzindo-o a um “sistema diádico que se movimenta entre a similaridade e o isomorfismo” (GIERE, 1999; ARONSON et al., 1993). Contudo, o sistema proposto por Suarez também considera uma relação diádica entre o que ele denomina “fonte” e “alvo” (SUAREZ, 2003, p. 225).

Não concordamos com a formulação diádica de Suarez (2003) e também não consideramos própria a distinção preconizada por ele entre “representações científicas” e “representações ordinárias” (SUAREZ, 2003, p. 206). Desde já afirmamos nossa intenção de defender uma *função representativa* para o ensino de química, mas algo que esteja inserido amplamente na filosofia que se consagra em torno do tema. Ainda assim destacamos algumas das conclusões de Suarez (2003) sobre as características que legitimam uma representação, no sentido de alcançar uma resposta para sua pergunta inicial. Pretendemos somar ao nosso texto algumas direções ditadas por Suarez que estão em confluência com nossas concepções sobre o processo de representação estrutural, e que nos ajudam a diminuir a interdição promovida pelo problema da representação.

Primeiramente, concordamos com a asserção sobre o valor cognitivo atribuído a uma representação para fornecer informações específicas acerca dos objetos que pretendem representar. Mas essa especificidade não pode ser considerada um processo natural e defendemos, ao contrário de Suarez (2003), que é possível (e às vezes necessário) pretender o uso de novos signos que provém informações igualmente relevantes acerca de seus objetos

imediatos. Suarez apresenta um conflito entre a missão do ser objetivo da representação (no sentido de desejar alcançar o objeto) e um caráter que denomina como “arbitrário” (SUAREZ, 2003, p. 227), o qual deve ser afastado de uma representação considerada “científica” (ibidem). Não propomos arbitrariedade na construção de nossa função representativa, mas uma relação de ampla coerência com uma *base normativa*, que organiza e legitima sua principal função: *possibilitar diferentes formas de uso*. Propomos que uma função representativa, uma estrutura de conhecimento sobre representação estrutural, alcança estabilidade por meio de suas formas de uso, e por isso caminhamos com certas escolhas metodológicas ao encontro de realizar verificações empíricas dessas formas de uso em um ambiente que julgamos ser privilegiado para tal finalidade: o Ensino Superior de Química.

Um segundo ponto a ser destacado nas proposições de Suarez (2003) pode ser encontrado em uma formulação axiomática sobre a inferência advinda de uma representação: “A representa B se (i) a força representacional de A aponta na direção de B e (ii) se A permite que agentes competentes e informados desenhem inferências específicas com respeito a B” (SUAREZ, 2003, p. 237). Para Suarez (2003) forças representativas são propriedades relacionais das fontes em contextos particulares de investigação. Elas são determinadas, pelo menos em parte, pelo uso corretamente planejado, que é condicionado e mantido por convenções e práticas sociais. A não tem força representativa até estar em uma relação de representação com B; e A só se mantém em tal relação se assim for designada por um investigador. Acreditamos que a noção de força representativa de Suarez (2003) prescreve um meio de produção simbólico, uma instância medial entre a fonte e o alvo, ainda que o autor não assuma em seu texto tal proposição. Destacamos a proposição de força representativa de Suarez porque, em boa medida, estaremos comprometidos em nosso trabalho em esclarecer essa parte do problema da representação, a relação entre o representante e o representado.

Em nossa opinião, o entendimento sobre como uma instância mediadora celebra a participação de signos em um processo de representação se desenvolve melhor a partir de um eixo basilar da *Filosofia das Formas Simbólicas* (texto de 1929) proposto por Ernst Cassirer (1874-1945): a noção de *pregnância simbólica*³². A primeira posição a ser tomada, assim como faz Cassirer, é de assumir que um representante só o é para alguém, e que há sempre algo para o qual o representante possui significado na semiose.

Para Cassirer a *pregnância simbólica* é a condição de possibilidade de toda mediação por símbolos (PORTA, 2002, p. 149), condição para que esses símbolos possam ser

³² *Symbolische Prägnanz*

interpretados por meio de usos em diferentes formas simbólicas. O termo *pregnância simbólica* trata da relação vital entre a percepção e o significado, que quer dar ênfase ao que Cassirer considera o nascimento da percepção por meio do significado. Se dirigimos nossa atenção para um evento futuro, ele não será a soma de nossas vivências presentes, mas sim uma antecipação dessas vivências. O presente está grávido de futuro, não é um acúmulo quantitativo de imagens, assim como não é sua combinação ou sua vinculação associativa. O processo simbólico para Cassirer é uma corrente que une vida e pensamento, que nunca conduz a processos absolutos. Somente a relação, o ir e vir entre representante e representado resulta em conhecimento para o sujeito dos objetos da semiose, sejam esses objetos reais ou não (CASSIRER, 1998, p. 239). Afim de que haja esta integração, a apreensão do todo semiótico partindo de um só momento, um fitar no tempo e no espaço, são necessárias certas leis que regulem os passos de um momento ao outro. Assim também podemos encarar que uma representação estrutural não é a soma de seus elementos simbólicos, e nem mesmo essa soma constitui partes relacionadas ao objeto dessa representação. Defendemos que essa representação possui um caráter regulado por um sistema de leis, nos mesmos termos defendidos por Cassirer. Esse sistema que atribui verossimilhança e organiza o processo semiótico é que denominamos *base normativa* da representação estrutural.

Ernst Cassirer foi um filósofo que emprestou seu conhecimento ao exercício de uma reflexão sobre as fórmulas estruturais muito antes que se pudesse pensar em uma epistemologia para esse domínio do conhecimento. Ele reconheceu antecipadamente os problemas de vínculos isomórficos nos processos de representação simbólica na química e indicou que há certo modo independente na evolução da “linguagem de fórmulas que estabelece a sistemática universal dos objetos e fenômenos da natureza” (CASSIRER, 1998, p. 511). Cassirer reconheceu que a química se converteu em uma “ciência” não somente por meio do aperfeiçoamento de seus métodos de medida, mas fundamentalmente por um aprofundamento intelectual que teve que percorrer “desde a fórmula química até a fórmula estrutural” (ibidem). Nas palavras de Cassirer:

[...] em termos muito gerais o valor científico de uma fórmula não só consiste em resumir situações empíricas dadas, mas também em provocar em certo modo novas situações. A fórmula [estrutural] estabelece problemas de relações, conexões e séries que precedem a observação direta. É assim como uma fórmula [estrutural] chega a ser um dos meios mais sobressalentes do que Leibniz chamou a “lógica do descobrimento, a *logica inventionis*”. (CASSIRER, 1929, p. 511)

Para Cassirer há, além de uma função preditiva nas fórmulas estruturais, uma dimensão “autenticamente genética” (CASSIRER, 1929, p. 512). Nesse caso é o

conhecimento teórico que permite distinguir fenômenos, agrupá-los e ordená-los em diferentes formas de generalização, que dão origem às *Formas Simbólicas*. Segundo Porta (2002) há diferentes interpretações na literatura para formas simbólicas, e por isso iremos demarcar em nossos referenciais teóricos o que pretendemos com este termo a partir de Cassirer. Por enquanto gostaríamos que o leitor percebesse uma forma simbólica como um sistema de signos, colocando em primeiro plano a tese de que toda relação do homem com o mundo é mediada por eles.

Nosso trabalho destaca o processo de mediação como uma função privilegiada do uso de representações estruturais no ensino superior de química. Nesta defesa, utilizaremos à tese da *mediação semiótica* de Lev Vigotski (1896-1934), que destaca o aspecto indireto das operações psicológicas como uma característica essencial dos processos mentais superiores (VIGOTSKI, 2007, p. 41), e que qualificam esses instrumentos de mediação como ferramentas (GIORDAN, 2008). Tomaremos que os signos que constituem os diversos meios mediais simbólicos em uso no Ensino Superior de Química podem assumir também o status de ferramentas nos termos defendidos por Vigotski, e vamos apresentar algumas características próprias destas ferramentas em sua atividade simbólica com relação ao ensino de química em cursos superiores.

Consideramos esse caminho porque ainda hoje as reflexões de caráter epistemológico parecem estranhas às práticas de pesquisa ou às atividades didáticas no país, principalmente ao modo de produção e às formas de uso da representação estrutural na disciplina Química. É nesse viés que nosso trabalho de pesquisa se situa. Pretendemos tomar como objeto de estudo a representação estrutural no Ensino Superior de Química, e propor uma função representativa que respeite as formas de uso instaladas nas atividades de ensino, mas que considere o amplo empreendimento já realizado em torno desse tema a partir da filosofia.

Nos diversos campos desta disciplina as diferentes formas de representação estrutural são usadas para promover situações de estudo, nas quais se pretende alcançar novos significados em amplos domínios do conhecimento químico. Nossos objetivos estão alinhados com a possibilidade de examinar e compreender, tanto por meio de reflexões teóricas, quanto por meio de estudos empíricos na sala de aula do ensino superior de química, os diferentes modos de produção e uso das representações estruturais.

Nossa pesquisa focaliza situações de ensino. Consideramos que os modos de produção e uso das estruturas representadas nas atividades didáticas podem ser promovidos por meio de ferramentas que agem de forma medial. Com relação a essa indicação, pretendemos oferecer

um debate entre as perspectivas encontradas na Mediação Semiótica de Lev Vigotski e a Filosofia das Formas Simbólicas de Ernst Cassirer.

Nosso trabalho se compromete também com um estudo acerca do estatuto epistemológico sobre o qual vem se debruçando a noção de representação estrutural na química. Pretendemos fornecer uma demarcação epistemológica para essa noção e desenvolver um arcabouço teórico para o tema. Esse processo deve permanecer coerente com o caráter mediador da representação.

O presente trabalho tem compromisso com as funções intelectuais coletivas que participam da noção de representação estrutural no Ensino Superior de Química e com as técnicas de representação nas atividades explicativas deste domínio. Nossas questões de pesquisa se alinham com um esforço teórico para a compreensão das formas de uso da representação estrutural. Nossa questão de partida pode ser formulada nos seguintes termos: quais formas de uso da representação estrutural podem ser colocadas em evidência a partir do estudo de situações em aulas do Ensino Superior de Química, e que tipo de matriz epistemológica concernente a esta noção de representação pode ser proposta a partir de tais formas de uso?

Este trabalho está dividido em seis capítulos considerando esta introdução. No capítulo seguinte pretende-se rever e debater criticamente a literatura que estudamos para nossa orientação e que colocamos como interlocutores em nosso trabalho. A seguir trataremos de apresentar as influências teóricas e filosóficas que nos movimentam para encontrar respostas ao nosso problema de pesquisa. No quarto capítulo mostraremos os caminhos metodológicos que pretendemos seguir, destacando as influências teóricas para essa estratégia metodológica e realçando outras já apresentadas. No quinto capítulo apresentamos e discutiremos os resultados empíricos de nossas investigações no ensino superior de química, avaliando episódios oriundos de registros de vídeo, que destacam o uso de ferramentas gráficas, materiais e gestuais em cursos superiores de química como meio de produção de formas simbólicas. Finalmente formularemos um conjunto de considerações finais sobre esse esforço e algumas perspectivas que delineamos para pesquisas futuras.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção apresentaremos um panorama das pesquisas que consideramos possuir interlocução com nosso trabalho e que nos trazem estímulo para debatermos o tema da representação estrutural. No capítulo anterior tivemos a oportunidade de encontrar aspectos oferecidos pela literatura que trata do tema, todavia, neste momento, propomos organizar nosso debate com a literatura em um modo diferente.

Antes de apresentar nossa estratégia de organização deste capítulo é importante destacar que a leitura do conjunto da literatura disponível sobre o tema da representação estrutural nos permite afirmar que este tema tem sido alvo de debates desde algum tempo, mas com certa intensificação à medida que os estudos a respeito de modelos progridem e se instalam na pesquisa em ensino de química (HENTSCHEL, 2002). As estratégias são diversificadas, mas concordam com uma perspectiva de submissão de sujeitos (especialistas ou novatos, em diferentes níveis de ensino) a um conjunto de exames ou situações nas quais são testadas habilidades ou conhecimento a respeito de um determinado aspecto que, em linhas gerais, é o foco da pesquisa. Pode-se admitir que lidar com representações é um mérito para o químico, nos mais diversos segmentos de atuação deste profissional, desde a engenharia até a atividade docente. Kozma e Russel (1997) fornecem um panorama geral da atividade de representação no ensino de química, considerando que este tipo de conhecimento deve ser promovido nos diferentes segmentos de ensino da química por meio daquilo que consideram como “competência representacional” (KOZMA; RUSSEL, 1997, p. 963) na química. Tal competência estaria relacionada à

[...] habilidade de identificar e analisar características de uma representação particular, padrões de características e usá-los como evidência para sustentar ou reivindicar propostas, fazer inferências e predições sobre relações entre fenômenos químicos e conceitos. A habilidade de transformar uma representação em outra, perceber as características intrínsecas de uma em relação à outra e explicar suas relações. A habilidade de criar ou selecionar apropriadamente uma representação para explicar as relações entre fenômenos químicos e conceitos. A habilidade de explicar porque uma representação em particular é mais apropriada do que outra para determinada finalidade.

A habilidade de descrever como diferentes representações podem dizer a mesma coisa de diferentes modos, e como uma representação pode dizer algo que não pode ser dito por outra (Kozma e Russel, 1997, p. 964).

Nas palavras de Kozma e Russel (1997) encontramos uma abordagem inicial daquilo que deve ser alcançado por meio das formas de uso da representação estrutural no ensino de química. Juntam-se a esses autores tantos outros que se dedicaram a estudar diferentes formas de representação no ensino de química. Procuramos selecionar um conjunto de referências

que tratam da questão da representação, focalizando aqueles trabalhos que contemplam esse tema em relação ao estudo de aspectos estruturais. Assim sendo, existem outros trabalhos e pesquisas inspiradores que também tratam da representação na química considerando, por exemplo, equações químicas (DORI; RAMEIRI, 2003), fórmulas empíricas (KLEIN, 2001b) e fórmulas moleculares (FLORES-CAMACHO; et al., 2007), mas que não estão colocados nesta revisão, com vistas ao recorte de nosso objeto de pesquisa.

Outro campo de pesquisa que apesar de não contemplado nesta revisão possui grande confluência tanto com a questão da representação estrutural quanto com o funcionamento ativo de habilidades espaciais é aquele que trata da pesquisa, desenvolvimento e uso de softwares de simulação e animação molecular em situações de ensino (GARCÍA-RUIZ; VALDEZ-VELAZQUEZ; GÓMES-SANDOVAL, 2008; GIORDAN; GÓIS, 2004; SANTOS; GRECA, 2005).

Agruparemos as referências deste capítulo em três temas com foco para os nossos interesses de pesquisa. No primeiro conjunto estão trabalhos que tratam do conceito de representação no ensino de química, todavia usando referenciais que consideramos impróprios e com as quais desejamos debater para esclarecer nossa posição contrária. Acatamos tais referenciais como pertencendo a Programas de Pesquisas em situação de degenerescência³³, mas que ainda exercem influência na literatura especializada. Em seguida passaremos a revisar pesquisas que trabalham em certa confluência com nosso projeto metodológico, pois reconhecemos que também consideram a participação da semiótica e da filosofia para enfrentar o problema da representação no ensino de química. São trabalhos que podem ser classificados como inseridos em programas de pesquisa com os quais rivalizamos em certos aspectos, mas que reconhecemos como sustentados em um núcleo estável, ainda que com hipóteses auxiliares diferentes das nossas. Na terceira parte deste capítulo nos dedicaremos a rever a literatura que recorre aos estudos específicos sobre a relação entre a representação no ensino de química e o uso de habilidades espaciais. Elas formam uma corrente prevalente nas pesquisas que procuram alinhar formas de uso da representação de entes moleculares com novas tecnologias educacionais. A dimensão representativa nesses estudos é colocada em evidência a partir da utilização de diferentes modos e meios de representar objetos moleculares. O destaque neste terceiro grupo de referências tem a ver como nosso interesse em salientar as habilidades espaciais como conteúdos didáticos presentes nas situações empíricas com as quais iremos lidar, mas também nos interessa informar ao leitor como

³³ No sentido proposto por Imre Lakatos (CHALMERS, 1999, p. 109)

nossas propostas metodológicas apontam para um formato diferenciado deste que consideramos um conjunto significativo da literatura sobre o tema.

2.1 Problemas de representação no ensino de química

Diferentes pesquisas revelam o interesse de longa data pelo estudo das múltiplas formas de representação no ensino de química (YARROCH, 1985). Uma proposta que se tornou influente em alguns círculos de pesquisa em ensino de química sobre o assunto tem origem no artigo de Alex Johnstone (1982), no qual o processo de representação é dividido em três níveis que constituiriam a maneira utilizada pelos químicos para fazer referência ao fenômeno químico³⁴. Este trabalho é recorrentemente citado ao se tratar do tema da representação no ensino de química, permanecendo como uma grande influência aos novos estudos e informando-nos de algum modo que Johnstone consagrou uma espécie de forma de encarar a atividade de representação na química (GEORGIADOU; TSARPALIS, 2000; TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2003). Apesar de sua grande influência, consideramos que a proposição dos níveis de representação é tanto imprópria quanto confusa, e nos surpreende sua longevidade de uso sem que tenha sido encontrada qualquer divergência sobre ela na literatura da educação em química. Procuraremos apresentar nesta seção os elementos que consideramos impróprios na abordagem de Johnstone e que nos movimentam na direção de desejar afastar essa maneira de ler a representação nas atividades relacionadas ao ensino de química.

Outro artigo de Johnstone (1993) propõe sua visão pessoal de como a disciplina química tem se desenvolvido e das forças que pautaram esse desenvolvimento, aqui Johnstone afirma sua disposição em oferecer uma “filosofia para o ensino de química” (JOHNSTONE, 1993, p. 701). São apresentados os movimentos de reforma curricular no ensino de ciências, que para ele foram desencadeados pelo lançamento do primeiro satélite artificial russo (sputnik), e que Johnstone considera como a “revolução de 1960” (ibidem). Nessa proposta de organização do conhecimento escolar científico, tanto em conteúdo quanto em método, não teria sido possível coordenar bons resultados, pois os sujeitos que planejaram tal modificação não perceberam que “aquilo que excita nossas mentes não necessariamente excita os alunos” (JOHNSTONE, 1993, p. 702). Para superar essas dificuldades ele propõe uma “nova

³⁴ Não tivemos acesso ao texto original de Johnstone (1982), pois o texto não está disponível no catálogo coletivo nacional, conforme o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e tecnologia (IBICT). Contudo, consideramos suficiente para nossa discussão outros trabalhos disponíveis do autor e outras referências à ele.

química” (JOHNSTONE, 1993, p. 703) que deve possuir três componentes básicos, delineados conforme a figura a seguir:

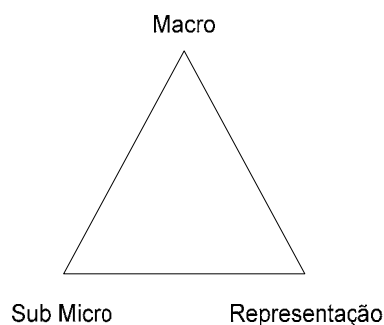


Figura 2.1. Os três componentes básicos da “nova química”, segundo Johnstone (1993, p. 703)

Os componentes da ‘nova química’ de Johnstone são a macroquímica do tangível, comestível, visível; a submicroquímica do molecular, atômico e cinético; e uma química representacional que corresponderia aos símbolos, às equações, à estequiometria e à própria matemática. O movimento principal de reformulação do ensino de química deveria concentrar-se na criação de condições para que os alunos pudessem se movimentar sem dificuldades no interior do triângulo, lidando com os três vértices do conhecimento químico.

Uma boa parte da química considerada velha por Johnstone estaria interessada somente no lado do triângulo referente aos vértices macro e representacional, nesse caso, a parte estrutural (correspondente ao vértice submicro) não seria explorada, o que privaria o aluno do contato com o interior do triângulo da química, região na qual se deve realizar o aprendizado desta disciplina. Johnstone utiliza a psicologia de Ausubel como referência para tratar dos mecanismos mentais que podem favorecer a apropriação dos conceitos que agem no triângulo da química. O argumento apresentado por Johnstone para relacionar as idéias de Ausubel e seu triângulo da química refere-se à elaboração de uma rede de conhecimento na memória de longa duração, e usa o conceito de elemento como exemplo para sua retórica.

Nas palavras de Johnstone, quando nos referimos ao conceito de elemento com nossos alunos não podemos nos limitar ao macroscópico, com a apresentação de diferentes materiais e indicar que “estes são elementos que consistem de átomos” (JOHNSTONE, 1993, p. 704). Nesse caso, não há nada no universo sensorial que nos ajude a alcançar o conceito de elemento. A solução proposta é inserir o aluno simultaneamente no mundo submicro de átomos e moléculas e “representar isso tudo” (ibidem) por meio de símbolos, fórmulas e equações. Assim, estaremos posicionando o aluno no meio do triângulo. Segundo Johnstone, esse processo pode levar algum tempo, mas assim que “embutido” (JOHNSTONE, 1993, p.

704) na memória de longo termo pode-se usá-lo como “uma nova forma de ver o mundo” (ibidem). Temos algumas indicações, por meio de nossos destaques, de que há uma disposição em tomar a estrutura do triângulo como uma forma de organizar o conhecimento químico em algum tipo de estrutura curricular (escrita ou em ação), e que a forma de compreender a representação envolve uma formulação mentalista, uma disposição que já tem sido criticada desde longa data nos debates centrais sobre esse tema na filosofia (BRANQUINHO; MURCHO; GOMES, 2003, p. 689). Quer dizer, se Alex Johnstone pretendia formular uma ‘filosofia para química’ oferecendo uma leitura da representação na química, fez uma escolha filosófica em conflito com a literatura sobre o tema³⁵.

Em um artigo mais recente, Johnstone (2000) apresenta dois eixos a serem considerados na elaboração de currículos para o ensino de química. Um desses eixos é derivado do seu triângulo, deve-se ter como referência os componentes macro, sub-micro e representacional para a organização das atividades e como critério de organização de conteúdos. O outro eixo é referido como uma “base psicológica” (JOHNSTONE, 2000, p. 10) que considera processos de aquisição e conhecimento em torno das idéias de memória de trabalho e de longo termo, conforme figura encontrada em outro artigo do autor (JOHNSTONE; SELEPENG, 2001).

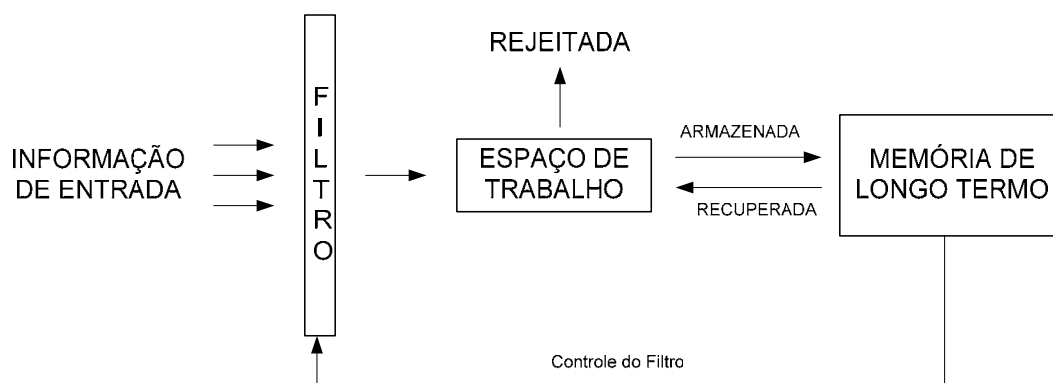


Figura 2.2. Modelo de processamento de informação segundo Johnstone e Selepeng (2001, p. 23)

Destaca-se neste artigo (JOHNSTONE, 2000) a tentativa de qualificar os vértices de seu triângulo por meio de associação com algo intitulado ‘natureza da química’: (i) “... meu segundo modelo tem a ver com a natureza da química. Eu acredito que ela existe em três

³⁵ Uma das questões delicadas quando se trata da representação em relação a uma base filosófica é justamente sua relação exclusiva com a ordem do mental. Mesmo linhas antagônicas da filosofia juntaram-se para discutir a representação e afastá-la de uma exclusividade mental, como por exemplo, Hegel, para o qual a representação deve ser vista com cautela no sentido de fornecer as verdadeiras leis do espírito, que são leis reais e não mentais, assim como Frege, que procurou instalar a noção de sentido (*Sinn*) no lugar de pensamento (*Denken*).

formas que podem ser pensadas como os vértices de um triângulo.” (JOHNSTONE, 2000, p. 11). Nele o autor dedica a maior parte de suas linhas à proposição de situações que devem ser aplicadas em sala de aula para proporcionar ao estudante acesso à integralidade do triângulo. O texto possui cinco situações tratando de diferentes pontos do currículo de química, das quais destaco uma na qual se pode encontrar a forma de uso para uma ferramenta material (balões), ainda que não esteja destacado nesses termos pelo autor, conforme a seguir:

[...] para ajudar os estudantes a racionalizar essas formas precisamos de uma nova idéia, a qual remete a possibilidade de tornar visual que as ligações assumem orientações de mínima repulsão. Uma ligação aponta em qualquer direção, duas são diretamente opostas, três formam um triângulo e quatro um tetraedro. Isso é facilmente demonstrável pelo uso de balões para representar as ligações e ver como eles se repelem para formar arranjos lineares, trigonais e tetraédricos. Isso é mais intelectualmente rigoroso do que falar sobre tetraedros surgindo de híbridos sp^3 . Usar o irrealismo de configurações eletrônicas de átomos (isolados em fase gasosa) e tentar criar a realidade da estrutura molecular a partir deles é intelectualmente suspeito (JOHNSTONE, 2000, p. 12).

Apesar de não se referir ao processo de mediação em nenhum momento de seu artigo, no trecho acima temos uma ordem explícita de uso de ferramentas de mediação para a criação de significados. Tem-se também uma indicação implícita das opções ontológicas assumidas por Johnstone em termos de sentido e referência, quando trata da realidade da estrutura molecular e remete as configurações eletrônicas ao status da irrealidade. Nesse sentido, podemos começar a delinear certa confusão na proposição dos níveis de representação, uma vez que os balões propostos para uso na atividade estão qualificados como representantes na proposta feita por Johnstone, mas não são relacionados a qualquer elemento de seu triângulo, seja como ‘nível de representação’, seja como um ‘esfera do conhecimento químico’. Na verdade não se tem claro como os balões são tomados na proposição de Johnstone.

Tendo colocado até agora as questões propostas por meio do triângulo de Johnstone, passarei a examinar outras referências que nos ajudarão a por em evidência alguns dos desencontros que circulam na noção de representação a partir dessas pesquisas em ensino de química. Tal exame nos ajudará a perceber a extensão de influência da noção de níveis de representação e como seus desdobramentos passam a criar novas impropriedades para os programas que usam essa idéia como núcleo para predicar suas explicações.

Como vimos anteriormente a dimensão ontológica dos entes da química é remetida pelo pesquisador como uma das causas para dificuldades de aprendizagem que são encontradas na prática do ensino de química. A impossibilidade de acessar diretamente a natureza particular submicroscópica dos materiais é uma restrição para a aprendizagem durante o processo de formação do químico. Segundo Treagust, Duit e Nieswandt (2000) essa

natureza submicroscópica é contradita pela intuição geral dos aprendizes, que confiam, a partir do sensorio, na estrutura da matéria como algo contínuo.

Também como exemplo da influência dos níveis de representação, temos que Treagust, Chittleborough e Mamiala (2003) adotam o triângulo de Johnstone para indicar que os químicos referem-se aos fenômenos em três diferentes níveis de representação: macroscópico, simbólico e sub-microscópico (TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2003, p. 1354). Destacamos em seguida um trecho no qual é feita a relação com o triângulo de Johnstone.

O nível [de representação] macroscópico é o fenômeno químico observável que pode incluir as experiências cotidianas dos estudantes, tais como mudanças de cor, observação de novos produtos sendo formados e outros desaparecendo. De modo a comunicar esses fenômenos macroscópicos, os químicos usam o nível simbólico de representação que inclui formas pictóricas, algébricas, físicas e computacionais tais como: equações, gráficos, mecanismos de reações, analogias e kits de moléculas. O nível submicroscópico de representação, baseado na teoria particular da matéria, é usado para explicar o fenômeno macroscópico em termos do movimento de suas partículas, tais como elétrons, moléculas e átomos. Essas entidades submicroscópicas são reais, mas são muito pequenas para serem observadas e são descritas pelo uso de representações simbólicas para a construção de imagens mentais (TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2003, p. 1354).

A pesquisa de Treagust, Chittleborough e Mamiala (2003) relaciona níveis de representação com tipos de explicação científica, a saber: analógica, antropomórfica, relacional, baseada em problema e baseada em modelo. Sua questão se concentra no papel que os níveis simbólicos e submicroscópicos de representação desempenham na compreensão do fenômeno químico, e na forma como essas representações provêm sentido. Usa-se como estratégia metodológica a observação e registro de aulas de ensino médio, onde são tratados temas de química inorgânica e orgânica. Há uma multiplicidade de unidades de análise, referidas como: cenários, aulas, episódio e diálogo, fornecendo-se trechos das falas do professor e dos alunos para sustentar os argumentos propostos. É possível identificar no texto que os autores consideram kits de moléculas do tipo bola-vareta e fórmulas estruturais em papel como representações no nível simbólico, ao passo que a vibração molecular está associada ao nível submicroscópico de representação (TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2003, p. 1363).

A forma de falar de ‘níveis de representação’ nas proposições de Treagust, Chittleborough e Mamiala (2003) nos parecem muito estranhas, vamos a seguir explorar algumas dessas inadequações. Primeiro devemos esclarecer que representação constitui um processo medial caracterizado pela ação de um representante em um meio com o objetivo de permitir uma relação entre duas instâncias: um objeto imediato desse representante, aquilo

que ele representa, e o interpretante do representante, que então passa a estar em relação medial com o objeto imediato por meio do processo de representação. Apesar de Treagust, Chittleborough e Mamiala (2003) concordarem com Johnstone que fenômenos, gráficos e moléculas são níveis de representação, nenhum deles ofereceu uma indicação do que pudesse ser representação com tal correspondência de níveis. Somente isso cria severos problemas para um sistema que permanentemente é referenciado por aqueles que procuram tratar do tema no ensino de química, contudo vamos prosseguir com outros pontos problemáticos dessa abordagem.

A palavra ‘nível’ parece soar aos adeptos do triângulo de Johnstone muito confortável ao tratar de coisas macroscópicas e coisas submicroscópicas. Contudo, tais adeptos deveriam estar alerta para o fato de que estão ‘nivelando’ categorias do mundo das coisas, principalmente porque insistem em relacionar tais coisas ao que consideram ‘real’, e para isso deveriam ao menos esclarecer seus compromissos ontológicos, já que estão tratando desse tipo de distinção e não de uma distinção consorte a representação. Com muita boa vontade poderíamos entender que os autores querem nos oferecer dois ‘níveis’ ontológicos do mundo e um processo (sua representação) que pretende criar somente ‘imagens mentais’.

David Treagust retomará sua adesão à idéia dos três níveis de representação como co-autor de outros dois artigos recentes. Em Chandrasegaram, Treagust e Mocerino (2007), os autores desenvolvem um instrumento (teste) para acessar o conhecimento de um grupo de 177 estudantes dos primeiros anos do que equivaleria ao nosso Ensino Médio (15-16 anos) de uma escola. Com isso pretendem avaliar as explicações desses estudantes para sete tipos de reações químicas quanto às representações: macroscópicas (mudanças nas reações químicas); submicroscópicas (em termos de átomos, moléculas e íons); simbólicas (uso de símbolos, fórmulas e equações). Em suas conclusões, os autores procuram indicar algumas implicações para a prática educativa e apontam que os alunos que realizaram o teste “são capazes de manipular os níveis de representação usados como referencial teórico” (CHANDRASEGARAM; TREAGUST; MOCERINO, 2007, p. 305), e apontam para a necessidade de múltiplos meios de comunicação para facilitar a aprendizagem.

Outro exemplo da adoção desse tipo de referencial nos faz perceber que quadros teóricos pouco consistentes podem derivar outros quadros teóricos e metodológicos que passam a ser oferecidos como estratégias em novas situações de estudo. Isso pode ser encontrado em um artigo no qual se pretende estudar a “habilidade de modelização” (CHITTLEBOROUGH; TREAGUST, 2007, p. 274) e sua relação com o nível de representação submicroscópico. Novamente, os níveis de representação são detalhados e

usados como referência nesta pesquisa. Nesse caso os autores incluem uma perspectiva sobre modelos encontrada em Grosslight, Unger e Smith (1991) para apresentar uma escala derivada dos três níveis originais de Johnstone: *nível um*, que considera modelos como cópias de objetos e ações; *nível dois*, que compreende a existência de um propósito específico que medeia a forma de construção do modelo; *nível três*, no qual o modelo é construído para desenvolvimento e teste de idéias em detrimento de ser uma cópia do real. A conclusão dos autores indica que os modelos desempenham um papel fundamental na relação entre os níveis de representação macroscópico e submicroscópico. Os estudantes que usaram os níveis de representação dois e três foram capazes de, por exemplo, usar modelos para testes, prever e avaliar suas idéias, desenvolver imagens mentais do nível submicroscópico da matéria, transferir idéias entre diferentes níveis de representação e criar representações simbólicas a partir de reações observadas.

É importante observar aqui que Chittleborough e Treagust (2007) decidem usar uma abordagem sobre modelos no ensino de ciências para criar uma heurística que fortaleça a concepção de níveis de representação. Neste caso podemos tomar que os modelos agem como as instâncias mediais simbólicas entre os níveis ontológicos que defendemos anteriormente, mas ainda atrelados ao conceito de representação. Entretanto, nos parece importante perguntar, porque não está sendo avaliado em nenhum aspecto o ‘nível de representação’ da representação? Só podemos estranhar tal esquecimento, pois em Treagust, Chittleborough e Mamiala (2003) os mesmos autores confiavam nesse ‘nível’ como um caminho para criar “imagens mentais” (TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2003, p. 1363) e, em boa medida, realizar boa parte das tarefas pretendidas aqui pelo uso de modelos.

Outro aspecto da confusão que pode advir de referenciais que estão inseridos nas pesquisas sobre representação no ensino de química se refere à qualificação desta noção como um tipo de conhecimento conceitual. Lee (1999) promove uma pesquisa com foco na química geral que procura apreender o funcionamento do modo de representação em papel dos mecanismos de reações. Lee também utiliza como referencial os níveis de representação de Johnstone, e defende que há uma tendência no ensino de química de privilegiarem-se os níveis simbólico e macroscópico. O objetivo do estudo de Lee é averiguar como alunos do ensino médio, e do ensino superior percebem uma reação química no nível das partículas, a saber, o aquecimento do cobre em presença de ar. O método usado por Lee na sua pesquisa propõe que os alunos façam desenhos (n = 50) representando a reação em termos de suas partículas constituintes. Contudo, as conclusões apontadas por Lee não refletem nada acerca da representação no ensino de química. Em lugar disso, o autor propõe um mecanismo para a

reação em estudo e concorda que muitos estudantes “mantém visões alternativas acerca da decomposição do cobre” (LEE, 1999, p. 414).

A influência exercida pela noção dos três níveis de representação é apresentada também na publicação de Rappoport e Ashkenazi (2008) que pode ser encarada como uma tentativa de fornecer novos esclarecimentos a respeito da proposta de Alex Johnstone. Nesse trabalho os autores propõem realizar uma integração entre os níveis de representação originais de Johnstone, considerando a distinção entre uma “perspectiva emergente de representação” e outra chamada de “perspectiva submergente” (RAPPOPORT; ASHKENAZI, 2008, p. 1595). A perspectiva emergente é caracterizada pela possibilidade de se deduzir o comportamento de um sistema químico no nível de sistema por meio das interações no nível de componente³⁶. A perspectiva submergente é caracterizada pela possibilidade de se deduzir as propriedades dos componentes a partir das propriedades do sistema. As relações emergentes e submergentes são avaliadas a partir de um “protocolo de entrevistas” (RAPPOPORT; ASHKENAZI, 2008, p. 1589) que pretende expor os modos usados por estudantes de graduação na solução de problemas conceituais.

O trabalho de Rappoport e Ashkenazi (2008) nos oferece uma nova oportunidade de entender a confusão que pode ser causada a partir da escolha do referencial dos níveis de representação de Johnstone. Para os autores, diferentes critérios podem ser usados para ordenar os níveis de representação, pois pressupõem uma hierarquia entre eles, resultando em diferentes sentidos (RAPPOPORT; ASHKENAZI, 2008, p. 1587). O uso comum dos níveis macroscópico e microscópico sugere que “esses dois sejam níveis de observação” (ibidem), o que para os autores seria uma atribuição problemática. Entretanto, o que poderia ser uma tentativa de superação da proposta de Johnstone se apresenta como uma tentativa de complementá-la.

Rappoport e Ashkenazi (2008) consideram que Johnstone, ao introduzir a idéia de níveis de representação, estava na verdade considerando “níveis de pensamento” (RAPPOPORT; ASHKENAZI, 2008, p. 1587), e que teria usado desde então tal proposta para explicar a falta de familiaridade de estudantes com conceitos abstratos. Na concepção dos autores, tal fato sugere a reclassificação dos níveis de representação de Johnstone em “níveis de abstração” (ibidem), tendo-se a experiência sensorial como um critério de ordenação. Não se coloca no texto como a experiência sensorial pode ser um critério de ordenação para níveis de abstração, e tem-se que a representação toma um critério exclusivo de abstração. Os

³⁶ Os termos *nível de sistema* e *nível de componente* estão associados, respectivamente aos níveis macro e micro de Johnstone (RAPPOPORT; ASHKENAZI, 2008, p. 1587).

movimentos de emergência e submergência pretendem ser mecanismos de conexão entre os níveis de representação originais de Johnstone. Todavia, tal conexão se mostra deficiente porque é produzida entre instâncias que não podem ser conectadas de maneira isomórfica, o que se supõe ao ler o artigo uma vez que não há esclarecimento nesse sentido. Um exemplo dessa incongruência é dado quando a *perspectiva submergente* defendida pelos autores contraria toda a semiótica construída até hoje, pois propõe que o “nível simbólico” age sobre o “nível sub-microscópico”. Ademais também não se pode ficar confortável diante da admissão de que algo na ordem fenomênica macroscópica possa estar no mesmo “nível de abstração” do que um símbolo (RAPPOPORT; ASHKENAZI, 2008, p. 1587).

A tentativa de recolocar os níveis de representação no cenário da pesquisa em ensino de ciências realizada por Rappoport e Ashkenazi (2008), constitui um exemplo basilar de como a ausência de discussões que considerem a questão da ontologia podem favorecer o desenvolvimento de problemas acerca dos estudos sobre representação. As dificuldades encontradas na tentativa de mover níveis de representação para níveis de abstração remetem a questões já consagradas como debate na filosofia, por exemplo, a partir da idéia de que a representação é uma instância exclusiva da mente do sujeito³⁷.

Nesta seção tivemos a oportunidade de encontrar algumas das pesquisas que remetem à questão da representação no ensino de química tendo como referência o triângulo de Johnstone. Não está claro, seja diretamente por meio do trabalho de Johnstone ou por meio daqueles que utilizam seu triângulo como referência, a natureza ou caráter funcional dessa tentativa de ação triádica no ensino de química. Com o intuito de reunir alguns dos aspectos de impropriedade que destacamos anteriormente, vamos explicitar no Quadro 2.1 algumas das atribuições dadas aos elementos do triângulo, seja nos artigos originais de Johnstone, ou naqueles que fazem uso de sua idéia.

Quadro 2.1 – Diferentes atribuições dadas aos vértices do triângulo nas referências em ensino de química.

Ordem	Atribuição dada aos vértices do triângulo	Referência	Ano
1	Níveis de pensamento da química	Johnstone	1991
2	Componentes de uma Nova Química	Johnstone	1993
3	Formas para uma Natureza da Química	Johnstone	2000
4	Níveis da química ³⁸	Georgiadou e Tsarpalis	2000
5	Níveis de representação	Treagust et ali.	2003
6	Níveis de abstração	Rappoport e Ashkenazi	2008

³⁷ Esse tipo de concepção foi combatido na Filosofia das Formas Simbólicas de Ernst Cassirer em 1929.

³⁸ Nesta referência, os autores indicam que Johnstone (1991) formulou a “distinção do ensino de química em três níveis de pensamento”.

A partir do Quadro 2.1 tem-se uma perspectiva do desencontro que se manifesta por meio das referências que usam o triângulo da química. A idéia de Johnstone, que tem sua origem como algo associado ao pensamento, passa por um caráter de distinção ontológica das coisas da química, tem sua utilização associada ao termo representação e recentemente deriva para o domínio exclusivo do abstrato. Consideramos que esse painel é revelador da necessidade de serem elaborados argumentos que se mostrem mais consistentes em termos de funcionalidade para alicerçar pesquisas em ensino de química.

Consideramos frágil a idéia de três níveis de representação para a química proposta por Johnstone (1982). Tais níveis parecem confundir referentes e referência, 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 (moléculas, átomos, etc.) 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, e que contradiz o que o próprio Johnstone e seus seguidores defendem explicitamente em seus textos.

Não pretendemos criticar essa opção por ser uma proposta não-realista, mas sim porque não há nenhuma tentativa de esclarecimento das proposições. Esta falta nos indica que não há um caminho epistemológico que nos ajude a entender os três níveis de representação. Até mesmo porque, de outra forma, se um nível de representação não é uma representação, também seria muito importante tratar desse esclarecimento nos estudos encontrados na literatura. A admissão dos três níveis de representação parece remeter a uma espécie de distinção natural entre: (i) aquilo que se pode ver, (ii) aquilo que não se pode ver e; (iii) aquilo que se pode criar por diferentes meios para ajudar a ver o que não se pode ver.

Podemos assinalar que as grandes lacunas encontradas nos estudos que tomam como referência a noção de níveis de representação referem-se à ausência de uma função epistemológica para as formas de uso que operam na prática do ensino da representação estrutural. A ausência de uma discussão ancorada na funcionalidade epistemológica, e que toque também na necessidade de uma distinção ontológica, delega para esses estudos um caráter restritivo quanto à natureza do conhecimento posto em ação durante as atividades didáticas. Podemos dizer também que a alternativa por deliberar por níveis de representação como estratégia para organização do conhecimento químico é ingênua, e coloca em cena a

falta de consulta à filosofia sobre a atividade da representação, que nesse caso poderia auxiliar em decisões mais vigorosas.

Por enquanto tem-se que o conjunto da literatura em ensino de química que procura colocar como questão de pesquisa a representação pouco reflete sobre esse tema e procura, mormente, apresentar soluções de caráter instrumental para essa noção sem percorrer outras formas de aproximação epistemológica. Isso nos parece um tanto estranho, uma vez que se aceita com razoável tranquilidade a necessária dimensão epistemológica de um conceito sem se dar essa mesma extensão para a noção de representação. Vamos a seguir encontrar de forma diferenciada algumas referências que tem o cuidado de escolher um aspecto epistemológico para uso em suas discussões.

2.2 Aproximações para uma semiótica da química

Nesta seção qualificamos dois estudos que, apesar de citarem as proposições de Johnstone, procuram oferecer respostas diferenciadas ao problema da representação em ensino de química. O primeiro deles é apresentado por Wu, Krajcik e Soloway (2001) em uma pesquisa que reflete o tema da representação no ensino médio de química em torno daquilo que remetem como a “aprendizagem de representações simbólicas e moleculares” (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001, p. 822). Segundo os autores, os processos de representação no ensino de química podem ser entendidos a partir do triângulo de Johnstone, e muitas estratégias têm sido sugeridas para que os estudantes possam entender química nos três níveis de representação, contudo, consideram que o uso de “modelos concretos e ferramentas tecnológicas” parecem ser os mais promissores (ibidem). Os autores estão interessados em promover situações que facilitem a compreensão de diferentes modos de representação, por meio de uma ferramenta computacional que explora a relação entre visualização e representação.

São apresentados três tipos de dificuldades no aprendizado de “representações em química” (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001, p. 823), durante o ensino secundário: (i) os estudantes não conseguem apreender o significado das representações, mesmo após ter recebido grande instrução acerca do tema, permanecem encarando fórmulas estruturais e moleculares como abreviações de nomes, em detrimento de associarem-nas a estrutura ou constituição; (ii) os estudantes possuem muita dificuldade para realizarem traduções entre

fórmulas, não conseguem intercambiar representações; (iii) os estudantes possuem muita dificuldade para converterem representações de duas em três dimensões. Para resolver esse conjunto de problemas os autores apostam na utilização de estratégias didáticas que combinem múltiplas formas de representação (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001, p. 825).

De forma diferenciada das pesquisas que visitamos até aqui, os autores manifestam certa preocupação quanto a localizar uma base epistemológica para noção de representação, e fazem isso a partir das discussões propostas por Hoffman e Lazlo (1991). Representações químicas podem ser vistas como “metáforas, modelos, e construtos teóricos provenientes da interpretação que os químicos fazem da natureza e da realidade” (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001, p. 824). Por exemplo, os autores consideram que a fórmula estrutural do benzeno foi modificada “devido a um melhor entendimento a respeito da ressonância eletrônica” (ibidem). Para os autores, representações simbólicas e microscópicas³⁹ “evoluem” (ibidem) de analogias fenomenológicas a partir de experiências sensoriais no nível macroscópico. E servem como ferramentas para a pesquisa e para a comunicação entre membros de uma comunidade científica.

Não podemos discordar do caráter operativo das representações na pesquisa em química, nem de sua relevância como uma ferramenta para a comunicação entre pares. Contudo, nos parece limitada e pouco clara a concepção epistemológica de representação delineada pelos autores a partir de Hoffman⁴⁰ e Lazlo (1991). Além de demonstrar pouco conhecimento acerca da história da proposta de representação para o benzeno, a assunção da representação como uma evolução simples e direta de observações empíricas nos parece, pelo menos, uma tentativa perigosa de restaurar os grilhões do positivismo lógico.

Os autores concordam com Kozma e Russel (1997) ao considerar que estudantes serão capazes de entender representações se conseguirem gerar interpretações, fazer traduções e manipular mentalmente essas representações. Tais “habilidades representacionais” (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001, p. 824) exigem que os estudantes possuam conhecimento conceitual e habilidades espaciais porque “representações químicas são construções conceituais tanto quanto dispositivos visuais” (ibidem). Considera-se que as pesquisas em

³⁹ Em referência ao triângulo de Johnstone.

⁴⁰ Em uma publicação mais recente Hoffmann (2007) defende a representação em química como “uma transformação simbólica da realidade” (HOFFMANN, 2007, p. 99), como um processo que reúne categorias tais como “figurativo, lingüístico, com historicidade, artístico e científico” (ibidem). Nesta apresentação o autor também faz referência a representação em química como possuindo níveis, de tal maneira que o câmbio entre tipos de representação pode ser indicado como um câmbio entre níveis realizado por sujeitos que desejam “ver” os objetos da química com uma realidade maior (HOFFMANN, 2007, p. 102). Destaca-se que neste trabalho Hoffmann indica que modelos são “representações adequadas para alguns fins, mas não para outros” (HOFFMANN, 2007, p. 102).

ensino de química que tratam da representação possuem caráter exploratório e não conseguem alcançar a forma como os estudantes desenvolvem suas habilidades químicas representacionais em um contexto de sala de aula. Tais pesquisas também não discutem as interações possíveis entre os aspectos visuais e conceituais da representação em química, que devem estar no núcleo do processo de visualização. Como base psicológica desse estudo os autores propõem como alternativa a estas limitações, um processo de estudo da visualização por meio de uma variação da Teoria de Codificação Dual (CLARCK; PAIVIO, 1991). Nesse caso, ao estudar representações químicas, os estudantes acabam por construir conexões cognitivas envolvendo as informações conceituais e visuais, conforme a figura a seguir:

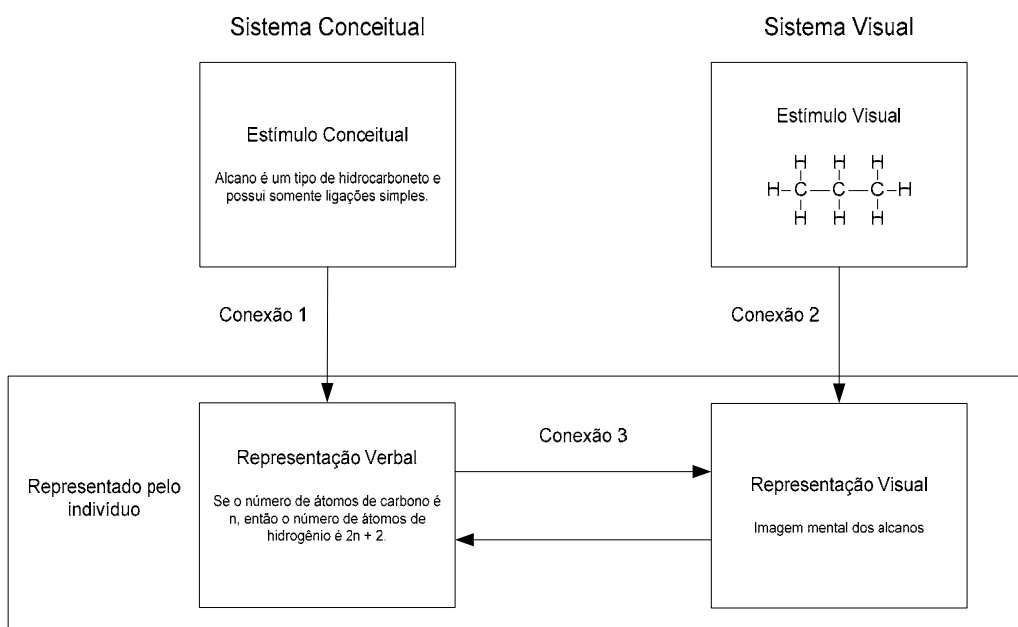


Figura 2.3. Exemplo de explicação acerca da fórmula geral dos alcanos usando sistemas visuais e conceituais da Teoria de Codificação Dual (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001, p. 825)

A informação visual e conceitual de um sistema de representação químico deve envolver a construção de três tipos de conexões cognitivas (Figura 3): (i) conexões representacionais entre informação conceitual fornecida por uma fonte externa e a representada pelo estudante (conexão 1); (ii) conexões representacionais entre informação visual fornecida por uma fonte externa e aquela representada pelo estudante (conexão 2); (iii) conexões referenciais entre sistemas visuais e conceituais (conexão 3).

Os autores concluem sua pesquisa apontando para os valores da intervenção de sua ferramenta computacional nas situações de ensino que tratam da noção de representação. Ao oferecer aos alunos, por meio da ferramenta computacional, as formas de preenchimento espacial e de bola vareta para a representação de uma substância, os autores informam que os

alunos tendem a preferir a forma de preenchimento espacial porque a consideram “mais realista” (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001, p. 838). Consideram também que a atividade em grupo favorece a negociação de sentidos e promove condições para que os estudantes superem as dificuldades mais presentes no trato com a ferramenta, tais como a tradução entre diferentes modos de representação.

O sistema de conexões defendido por Wu, Krajcik e Soloway (2001) propõe uma interpretação para o problema da representação no ensino de química que consideramos distante do que pretendemos apresentar neste trabalho. Um indicador dessa distância localiza-se, por exemplo, na compreensão diferenciada que temos do chamado ‘estímulo visual’ conforme a Figura 2.3, uma vez que interpretamos esse sistema visual também como uma representação. Por uma questão de coerência devemos limitar nossas críticas, pois não trataremos em nosso trabalho de avaliar ou propor um modo de aprendizagem envolvendo o processo de representação. Contudo, podemos destacar que nossas proposições rivalizam com as interpretações dos autores, pois pretendemos configurar o processo de representação e suas formas de uso a partir do ensino superior de química como uma semiose. Nesse sentido, nossas aproximações teóricas deverão estar em acordo com essa proposta e percebemos na nossa busca por interlocutores na literatura que há outros grupos interessados em configurar um sistema semiótico para a química.

Verificamos na literatura uma pesquisa que propõe um tipo de sistema semiótico para a representação em química a partir do estudo de signos gráficos em livros didáticos de química. O trabalho de Han e Roth (2006) estuda a função e a estrutura das inscrições⁴¹ que são utilizadas em livros de ensino médio. Os autores defendem uma semiótica da química, chamada de “quimiosemiótica” (HAN; ROTH, 2006, p. 176) como condição de possibilidade para desvelar o trabalho de leitura necessário ao entendimento dessas inscrições, nos termos pretendidos pelos autores dos livros.

As escolhas em semiótica dos autores indicam a hermenêutica de Paul Ricoeur (1913-2005) como sua opção para o processo de ação do signo. Elas destacam o papel central do sujeito e de sua função interpretativa na semiose. O processo de leitura de um livro, por exemplo, é necessariamente não linear e entrecortado pelo texto, figuras, tabelas gráficos, etc. Essas diferentes “modalidades semióticas” (HAN; ROTH, 2006, p. 178) são, na perspectiva dos autores, incomensuráveis.

⁴¹ Os autores usam o termo inscrição para referirem-se a todas as formas de representação visual diferentes de texto.

Assim como assumido na hermenêutica de Ricoeur, o leitor é caracterizado como o centro das ações interpretativas e de atribuição de sentido, sendo também o responsável pela associação de tempo e espaço a fotografias. Também é o leitor que cria as estruturas em três dimensões a partir de um conjunto de pontos, em dado instante de tempo. Nesses termos, considera-se que as funções interpretativas de inscrições em livros devem considerar o papel ativo dos leitores como sujeito dessa interpretação. O uso de representações se propõe à mediação entre as substâncias físicas e entidades imperceptíveis ou entre as substâncias e os processos químicos. A representação toma o lugar de entidades e de processos invisíveis.

A proposta que os autores apresentam pretende servir como guia para a análise do trabalho que os estudantes desenvolvem ao ler um livro com inscrições. Os gêneros de inscrições que são analisados podem ser classificados em 10 diferentes tipos: fotografia, desenho, diagrama, sistema, quadrinhos, mapas conceituais, tabelas, gráficos, equações, além da categoria “mistos” (HAN; ROTH, 2006, p. 180). O estudo semiótico desenvolvido pelos autores no material empírico é referenciado por pesquisas na área de biologia (biosemiótica, zoosemiótica e fitosemiótica), e combinado com a noção de signo de Pierce (HAN; ROTH, 2006, p. 183).

O modelo semiótico utilizado revela que há dois tipos de inscrições: aquelas que representam o mundo macroscópico, e as que representam coisas inacessíveis ao olho nu, por exemplo, uma molécula. Assim, o processo de trabalho de leitura deveria concordar com um processo que é proposto pelos autores conforme a Figura 2.4.

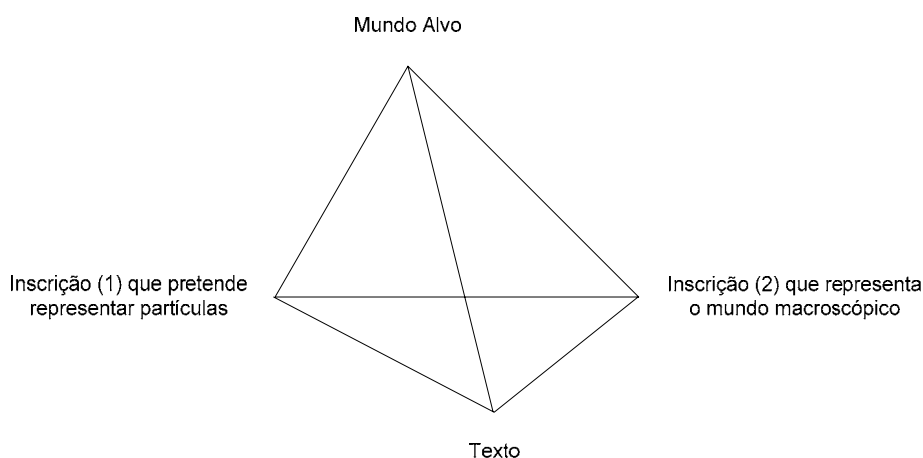


Figura 2.4. Modelo semiótico de leitura de inscrições químicas (HAN; ROTH, 2006, p. 183)

No modelo semiótico da Figura 2.4 o texto é incluído como o elemento de entrada. O mundo constitui um contínuo incluindo livros texto e a tinta usada para formar letras e imagens. Os signos constituem um aspecto desse contínuo. Na pirâmide, cada uma das quatro

faces forma uma relação triádica, por exemplo, o plano inferior pode ser analisado de forma independente de sua relação com o mundo, e os vértices inferiores atuam como interpretantes no processo de leitura dos livros.

A Figura 2.5 apresenta a idéia subjacente ao modelo semiótico proposto anteriormente. A figura oval na parte de baixo da Figura 2.5 se refere à base material de todos os signos na página do livro. Para desvendar as relações entre os quatro elementos no modelo semiótico proposto, os autores propõem pensarem-se os vértices inferiores como interpretantes dos signos que aparecem na base material. As relações existentes entre os signos não são inerentes àqueles signos per si. Os autores querem colocar em evidência que os interpretantes são funções ativas indicadas a partir do ponto de vista de um leitor. Ainda com relação à Figura 2.5, as linhas tracejadas correspondem ao processo de análise da estrutura interna de uma inscrição ou texto. As linhas inteiras correspondem ao processo de tradução entre os dois mundos.

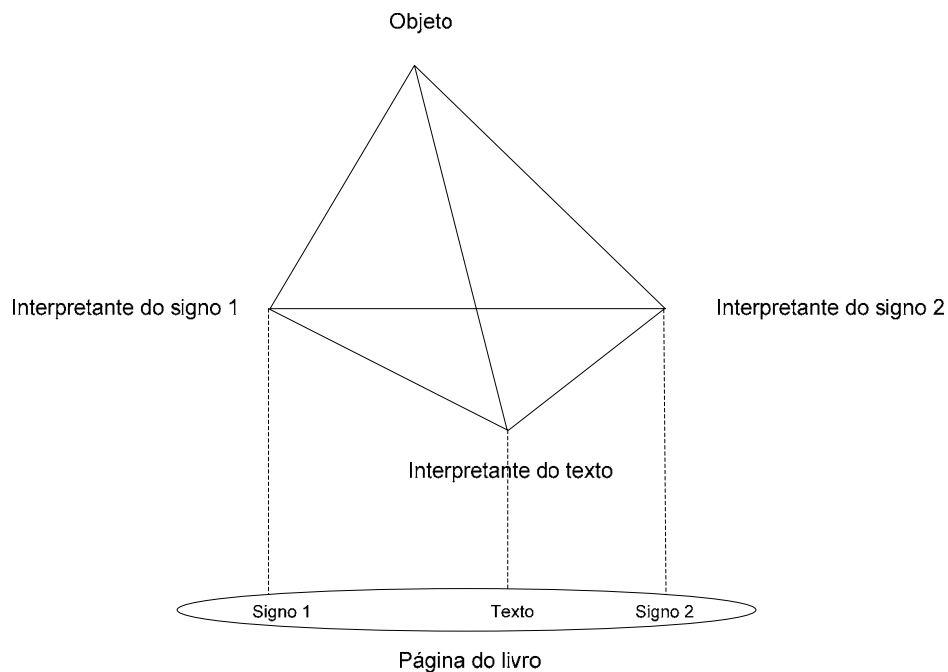


Figura 2.5 Idéia subjacente ao modelo semiótico (HAN; ROTH, 2006, p. 185)

A relação entre uma inscrição que pretende representar partículas e o mundo alvo, conforme indicada na Figura 2.5 pela via interpretante do ‘Signo 1’ é uma relação analógica hipotética, dado que os leitores não têm acesso às partículas do mundo microscópico como elas são. Uma vez que o mundo microscópico é invisível, ele requer ser representado por meio de coisas que estão no mundo macroscópico. Os autores concordam com Hoffman e Lazlo (1991) que a relação entre uma inscrição e o mundo alvo é uma “analogia fenomenológica”

(HAN; ROTH, 2006, p. 184). A relação entre uma inscrição que representa o mundo macroscópico e o mundo alvo é, conforme indicada na Figura 2.5 pela via interpretante do ‘Signo 2’, é considerada pelos autores como “icônica” (ibidem). São fotografias que apresentam similaridade com o mundo diretamente acessível ao leitor. A relação entre ‘Inscrição 1’ e ‘Inscrição 2’ pode variar dependendo da situação.

Segundo a avaliação dos resultados fornecida pelos autores, a leitura de inscrições requer diferentes tipos de trabalho: (i) estruturação de cada tipo de inscrição e texto, (ii) transposição de inscrições, (iii) estabelecimento de relação entre inscrição e texto e (iv) interpretação do sentido dessa relação. Nesses termos, os autores propõem que a unidade de análise deve incluir todas as inscrições, legendas, e texto principal. Esses elementos estariam agindo como uma segmentação do contínuo necessário à atribuição de sentido.

Os autores consideram questões ontológicas e epistemológicas quanto ao modelo químico. Ontologicamente, destacam que os estudantes podem “ver” (HAN; ROTH, 2006, p. 199) diferentes coisas em uma inscrição que parece representar um sistema de partículas. Nesse caso, as bolas e caracteres usados nas inscrições não atuam como “ferramentas” (ibidem) para a explicação do fenômeno. Epistemologicamente, destacam que a dificuldade em se apropriar do sentido pretendido pelo autor do livro pode ser devida à distância em relação aos estatutos teóricos do modelo. Para diminuir essa distância propõem (sem detalhar) atividades “interessantes” (ibidem) que pratiquem as formas de uso do modelo de maneira concreta.

O trabalho de Han e Roth (2006) pretende ser um aporte semiótico para o entendimento do uso de inscrições em livros de química. Mesmo estando aplicado a uma forma específica de uso (livro didático), ele nos informa sobre uma das tentativas mais ousadas na pesquisa em ensino de química de aproximação para uma semiótica da química e que considera necessários aspectos epistemológicos e ontológicos em sua discussão.

Nesta seção tivemos a oportunidade de encontrar pesquisas que tratam de forma ampla a representação, vinculando-a com situações e demandas escolares a partir do ensino de química. Na seção seguinte estaremos interessados em destacar um conjunto de pesquisas que remetem à relação entre representação no ensino de química e habilidades espaciais.

2.3 Formas de representação e visualização espacial no ensino de química

Outros estudos encontrados na literatura tratam o tema da representação estrutural como um elemento central na construção de significados no ensino de química. Nesses casos temos que as diferentes formas de mediação atuam para esclarecer, por exemplo, como pode haver a combinação satisfatória de múltiplos meios de representação sem prejuízos para a aprendizagem (COOK, 2006). Revisando a produção acadêmica sobre representação estrutural no ensino de química percebe-se que há uma intensa correlação entre esta noção e aquilo que a literatura caracteriza como “habilidade espacial”.

A habilidade espacial tem sido estudada desde algum tempo pela psicologia cognitiva (PETRUSIC et al., 1978) e é considerado um conteúdo escolar para o domínio da educação matemática (BISHOP, 1980). Estudos recentes demonstram o interesse progressivo na pesquisa das relações entre formas de representação estrutural e habilidades espaciais (WU; SHAH, 2004), um tema que era considerado negligenciado pelo ensino de ciências até o final do século XX (MATHEWSON, 1999). A habilidade espacial é uma qualificação relevante para um número considerável de atividades humanas⁴². Esta é uma área que tem se concentrado em estudos a partir da psicologia e da educação matemática (HUK, 2006; KOZHEVNIKOV, 2007), contudo, devido a sua notável correspondência quanto ao conteúdo das atividades, tem interessado também ao ensino de química (BALABAN, 1999; PRIBYL; BODNER, 1987; WU; SHAH, 2004).

Nosso foco na literatura que trata das habilidades espaciais procura destacar as possíveis correspondências entre um conjunto de atividades procedimentais, características desse domínio, e as formas de uso para a representação estrutural no ensino superior. No entanto, temos que nossas intervenções empíricas estarão orientadas a um novo enfoque para o estudo desse repertório de processos. A habilidade espacial é interpretada como uma complexa função de atividades a que o sujeito está submetido a partir de sua história, cultura e formação pessoal. Nesse sentido Barke e Engida (2001) investigaram as habilidades espaciais em estudantes alemães e africanos com idades entre 13 e 18 anos, a partir de testes envolvendo estruturas químicas. Um dos motes diferenciadores da pesquisa é procurar na imaginação um fator decisivo para construir diferenças culturais, envolvendo conteúdos que expõem habilidades espaciais. A pesquisa toma como referencial a imaginação como

⁴² Uma outra linha de trabalhos empíricos sobre o tema documenta diferenças de gênero como determinantes da competência em resolver problemas que envolvem habilidades espaciais, ainda que os motivos dessa diferença não sejam compreendidos (JOHNSON; BOUCHARD JR., 2007; KAUFMAN, 2007; LINN; PETERSEN, 1985).

mediadora entre o fenômeno e os símbolos químicos. Essa “imaginação estrutural” (BARKE; ENGIDA, 2001, p. 229) é conseguida quando o aluno tem a oportunidade de lidar com diferentes tipos de modelos e elaborar diferentes estruturas, a partir desses modelos.

Outro destaque para a pesquisa de Barke e Engida (2001) é seu aporte a uma base epistemológica que decorre de estudos sobre a história da química, e destaca procedimentos utilizados por participantes do programa de pesquisa da química orgânica a partir da metade do século XIX. Nessa empreitada os autores buscam organizar atividades didáticas a partir do uso da imaginação e destacam algumas hipóteses tais como: (i) os estudantes africanos e alemães possuem, estatisticamente, níveis semelhantes em termos de habilidades espaciais; (ii) não há diferenças significativas de gênero, em relação às habilidades espaciais, nos grupos africanos pesquisados (BARKE; ENGIDA, 2001, p. 228).

Uma das razões para dedicar-se atenção à habilidade espacial em termos de uma pesquisa em representação estrutural é concernente à definição fornecida pela literatura especializada no tema, que a destaca como atividade que envolve “representar, transformar, gerar e revocar informação simbólica ou não-linguística” (LORD, 1985). Há um bom número de habilidades espaciais identificadas, apesar dos pesquisadores da área não terem chegado a um consenso sobre nomes, descrições, tipos de habilidades ou de categorizações universais para as atividades que são treinadas e colocadas em teste neste campo (LORD; RUPERT, 1995, p. 48).

Uma forma de classificação para a habilidade espacial que abrange o maior número de categorias, e formulada com a intenção de englobar diferentes visões propostas na literatura do tema foi proposta por Maier (1996) e considera cinco elementos para a habilidade espacial. Tais elementos são obtidos por meio de situações típicas que colocam em evidência procedimentos e esquemas perceptivos que os caracterizam. O primeiro elemento é chamado *percepção espacial*. Ele requer, por exemplo, a localização horizontal ou vertical em eventos que possuem informações ou objetos distrativos. É a percepção espacial que nos informa ou nos ilude sobre a existência de mundo exterior e nos proporciona a noção de extensão dos objetos. O segundo elemento é chamado *visualização* e compreende a habilidade de visualizar uma configuração na qual existe movimento ou deslocamento interno entre partes da configuração. Por exemplo, podemos citar sólidos que são cortados por um plano, como no caso das projeções diédricas ortogonais da geometria descritiva, também conhecidas como vistas. O terceiro elemento é chamado *rotação mental* e envolve a habilidade de rodar precisamente uma figura em duas ou três dimensões. O quarto elemento é chamado *relação espacial* e significa a habilidade de compreender a configuração de objetos ou partes de

objetos e suas relações uns com os outros. Por exemplo, reconhecer a identidade de um objeto que é mostrado em diferentes posições. O quinto elemento é chamado *orientação espacial* e requer que o sujeito se oriente em uma situação espacial particular. Tal habilidade se refere à capacidade de se orientar mentalmente no espaço.

Contudo, devemos destacar que mais adiante, em nossa metodologia, proporemos uma forma específica de organização das habilidades espaciais, que se considera concisa para os propósitos de nossa pesquisa e que encontramos em uso na literatura, restringindo a habilidade espacial em três tipos: *visualização*, *rotação* e *percepção* (LINN; PETERSEN, 1985, p. 1483). Conforme nossa proposta metodológica, tomaremos as classificações relativas à visualização e à rotação e chamaremos a terceira habilidade de relação, pois diante da defesa de Linn e Petersen (1985) tem-se que a percepção espacial envolve “a relação entre objetos a despeito de informações distrativas” (LINN; PETERSEN, 1985, p. 1482). Uma concepção importante nessa classificação trata de conceber a habilidade de visualização como “uma combinação analítica de estratégias visuais e não visuais” (ibidem, p. 1491). Este aspecto destacado pelos autores sugere a verificação de conteúdos espaciais simbólicos ainda que ocorram na ausência de uma ferramenta medial. De forma diferenciada ao que propomos, o enfoque metodológico mais frequente nas pesquisas que tratam da habilidade espacial é desenvolver testes específicos e aplicá-los em grupos, sobre os quais se quer identificar alguma característica. Mesmo que o interesse se restrinja a uma única característica (por exemplo, a habilidade de rotação mental em problemas de química orgânica), trata-se de um estudo da habilidade espacial.

Uma boa parte dos estudos que relacionam habilidades espaciais diretamente com a representação estrutural concentra-se nas disciplinas relacionadas à química orgânica (COPOLO HOUNSHELL, 1995; TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2004). Nesse contexto, Pribyl e Bodner (1987) estudaram a relação entre a habilidade espacial e o rendimento na disciplina química orgânica em alunos de quatro diferentes cursos superiores. Os autores destacam que os alunos que fazem uso exaustivo de desenhos durante a solução de seus problemas, alcançam melhor rendimento do que aqueles que se propõem a responder os testes propostos sem usá-los. Os alunos que utilizam desenhos preliminares, mesmo quando não solicitados, possuem desempenho melhor.

Destacamos novamente que parte das pesquisas converge para estratégias que utilizam resolução de problemas (LORD, 1985; FERK; VRTACNIK, 2003). Inclusive nesses estudos, considera-se que tais estratégias metodológicas e bases teóricas ancoradas na psicologia cognitiva são capazes de lidar com funções de atribuição eminentemente culturais, e que são

assumidas como constituintes no desenvolvimento da habilidade espacial (FERK; VRTACNIK, 2003, p. 1229). Por exemplo, Brownlow, McPheron e Acks (2003), consideram que as deficiências em torno das habilidades espaciais, mormente a rotação mental, contribuem para que mulheres evitem áreas de estudo em ciências, incluindo a química. Na metodologia empregada nesse estudo, 51 homens e 78 mulheres com e sem experiência em química orgânica foram submetidos a um conjunto de testes que verificam a habilidade de rotação mental. Este é um exemplo particular da questão de gênero na habilidade espacial que utiliza o conhecimento em química orgânica como critério para avaliação de resultados. Apesar dos autores discutirem as limitações da metodologia empregada, pretende-se confirmar relações entre gênero e suas opções na atividade profissional científica, a partir desse tipo de pesquisa e desconsiderando quaisquer vieses da perspectiva sociocultural.

Ainda com relação a estudos que envolvem habilidade espacial no ensino de química, emerge um conjunto de trabalhos que procura associar esse tema a conteúdos específicos da disciplina química. Por exemplo, Balaban (1999), apresenta aspectos da história da representação estrutural com ênfase na química orgânica e discute os tipos de convenções que são utilizados para a transposição de objetos tridimensionais em representações bidimensionais, destacando que a finalidade principal das fórmulas estruturais é permitir o estabelecimento de relações quantitativas entre estrutura e atividade (QSAR). Para Balaban, tais relações só podem ser alcançadas por meio de uma correspondência entre a forma dos compostos químicos e seus “índices topológicos” (BALABAN, 1999, p. 251). O artigo é principalmente uma descrição sobre o conjunto de regras que organizam a representação estrutural e sobre algumas indicações de preferência para o uso de certos tipos de projeções, mas destaca também que tais regras estão submetidas a um círculo conceitual restrito (BALABAN, 1999, p. 254). O autor espera que em um futuro próximo essa transcrição de fórmulas estruturais em seus referentes topológicos possa ser realizada por meio de hologramas.

Em uma outra pesquisa Ealy e Hermanson (2006) estudam conceitos específicos, tais como: simetria, aromaticidade e blindagem, por meio da submissão de alunos a quatro tipos de testes que põem em evidência o caráter imagético da química orgânica em representações estruturais em papel, animações em computador e espectros de Infravermelho e Ressonância Magnética Nuclear (RMN) de próton. Nesse trabalho tem-se a relação de espectros de RMN e de Infravermelho com um estudo sobre a aprendizagem de representação estrutural por meio de um teste em ambiente computacional que propõe que o aluno correlacione um conjunto de espectros de RMN e Infravermelho com a representação estrutural correspondente. Seus

resultados fornecem correlações positivas, em termos de aprendizagem, para atividades que integram diferentes meios para apresentação de imagens em conjunto com discussões verbais. Contudo, consideram que a área de química geral também deveria lançar mão de alternativas didáticas que combinem explicação de conceitos e “imagens moleculares visuais” (EALY; HERMANSON, 2006, p. 67).

Na área de química geral, Carter, Larussa e Bodner (1987) desenvolveram uma pesquisa que testou a correlação entre as habilidades espaciais que 1648 calouros apresentavam em diferentes cursos de graduação e seus rendimentos, ao resolverem um conjunto de testes relativos à disciplina. Um dos resultados apontados neste estudo refere-se a proximidade encontrada nos rendimentos de testes que envolvem habilidades trazidas pelos calouros para com atividades bastante distintas, tais como: predição de estruturas de sólidos iônicos ($r = 0,29$)⁴³, a qual envolve diretamente a espacialidade; e solução de algoritmos de cálculo estequiométrico ($r = 0,32$), que possui característica de manipulação de aspectos algébricos e aritméticos.

Ainda tendo como referencial o ensino de química, destacamos finalmente uma pesquisa que estuda a relação de transposição entre diferentes formas de representação, considerando o domínio de habilidades espaciais e também questões de gênero. Keig e Ruba (1993) estudaram a tradução entre diferentes formas de representação em estudantes de química no ensino médio. Para os autores uma representação pode carregar certos detalhes derivados de conceitos e princípios específicos, e ao mesmo tempo não permitir que outras informações sejam informadas ao sujeito. Os recursos metodológicos utilizados na pesquisa envolvem: gravação de áudio, transcrição dos testes aplicados aos estudantes e entrevistas. A pesquisa estuda a transposição entre três tipos de representação, conforme os autores: fórmulas moleculares, distribuição eletrônica e figuras do tipo bola-vareta. Ao avaliarem esses processos de transposição os pesquisadores consideram que o estudante deve compreender adequadamente o conceito por trás da representação inicial para poder interpretar as informações decorrentes desta, para em seguida inferir os detalhes necessários para a construção da representação destino. Os autores concordam que durante o processo de transcrição semiótico haja participação efetiva de uma base conceitual, inclusive em caráter de controle (KEIG; RUBA, 1993, p. 887). Este é um aspecto importante para o nosso estudo das formas de uso de representação estrutural, pois sugere que tal processo pode ser

⁴³ Onde $r=1$ indica rendimento de 100%

organizado de alguma maneira por um conjunto de elementos epistemológicos, além de uma relação semiótica entre signos.

Neste capítulo apresentamos inicialmente um conjunto influente de referências que realizam uma leitura da representação para o ensino de química que desejamos superar neste trabalho, tanto por meio de uma incursão teórica mais robusta quanto pela verificação empírica de suas possibilidades. Desejamos oferecer tal robustez ao nos aproximarmos de uma perspectiva ampla da filosofia que tem sido oferecida ao tema da representação. Consideramos que essa aproximação nos permitirá maior coerência com os aspectos semióticos que julgamos necessários às formas de uso de um processo que emerge da história da disciplina química e que lida com a relação entre símbolos e que ajuda a constituir um particular processo de significação. Acreditamos que as impropriedades que se instalam na pesquisa no ensino de química por meio da apropriação do chamado triângulo da representação, assim se realizam porque insistem em desconsiderar a relação entre uma epistemologia, que cada vez mais se apresenta diferenciada no caso da representação estrutural, e alguns ditames sobre a ontologia dos entes químicos.

Salientamos também que as habilidades espaciais possuem um aspecto nuclear quando a literatura focaliza a representação estrutural, e que um caráter inovador de nosso trabalho se posiciona na pretensão de incluir a discussão sobre habilidade espacial no ensino de química por meio da incursão em situações de sala de aula, a despeito de seguir a tradição da submissão de alunos a quaisquer conjuntos de testes específicos. Pretendemos um olhar sobre essas habilidades espaciais por meio de suas formas de uso, legitimadas pela ação do professor durante o trato com o tema.

No capítulo seguinte mergulharemos em um novo conjunto de referenciais, mas agora com o intuito de guiar-nos ao objetivo de criar uma função representativa no que concerne o uso da representação estrutural no ensino de química. Esse processo criativo acata o legado recebido da filosofia e da semiótica e procura recortar desse conjunto o que se considera pertinente ao processo de representação estrutural. Desejamos mostrar que há uma teoria para o conhecimento sobre o processo de representação estrutural, tanto quanto para a representação de maneira geral, e que esses valores epistemológicos devem ser considerados em pesquisas futuras. Nossas incursões teórico-filosóficas no capítulo seguinte mostrarão também que devemos pensar em uma ontologia para os entes da química e fazer uso dessa reflexão para o alcance da pesquisa.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-FILOSÓFICA

Nesta seção serão apresentadas as questões teórico-filosóficas que norteiam a investigação e com as quais projetamos um novo modo de interpretar a representação estrutural. Destacamos aspectos da filosofia e da educação que permitem criar ambiente próprio a um debate renovado sobre nosso tema de estudo.

Ao percorrer a história da filosofia percebe-se que o tema da representação foi abordado por diferentes autores em diversos momentos, tanto para sua defesa quanto em estratégias de refutação. O texto que se apresenta aqui não tem a pretensão de cobrir de maneira plena uma revisão teórica sobre tal assunto, mas de propor um caminho para a pesquisa a partir de diversas leituras e discussões proporcionadas pela sua jornada de realização. Reafirmamos o intento de provocar novas discussões sobre o tema com um recorte diferenciado daquilo que está proposto na ampla literatura produzida, seja em torno de questões relativas ao processo de usos de signos em processos semióticos, como de forma específica para a representação estrutural no ensino de química.

A composição resultante dessa incursão teórica colabora para a elaboração do quadro categorial em nossa estratégia metodológica, e coopera na leitura das formas de uso sob a qualidade de dados empíricos. O caminho por esta seleção de concepções sobre a representação procura aproximá-la de uma atividade semiótica consonante com a fenomenologia típica da atividade dos químicos. Mostraremos aqui que o julgo fenomênico que é emprestado desde o início à leitura sobre representação no ensino de química, não se coloca como marca de privilégio de empirismo ou de instrumentalismo para o reconhecimento do signo em nossas situações de estudo.

O entendimento da representação na química como uma atividade que constrói e esclarece problemas, para além de comunicar coisas e pô-las diante de estudantes, não foi marcado pela reflexão filosófica. Apresentaremos o filósofo Ernst Cassirer como um dos iniciadores de uma reflexão sobre o potencial da representação estrutural na química como ferramenta heurística e também um dos primeiros teóricos a tentar incluí-la em um sistema de representação amplo e diversificado. Desejamos tornar a filosofia de Cassirer aliada do processo de mediação semiótica pretendido por Lev Vigotski e mostraremos que o próprio Vigotski reconhecia confluência entre suas pesquisas e aquelas realizadas pelo filósofo alemão.

As linhas a seguir se ocuparão também de contornar questões ontológicas concernentes ao ente químico, e pretende-se fazê-lo de modo a contribuir com a função

representativa que desejamos criar. Enfim, todos esses elementos desejam servir de estímulo para uma nova forma de interpretar a representação no ensino de química.

3.1. Relações entre as coisas e seus representantes

O processo de representação é identificado como uma relação entre três domínios: algo é representado para algo por meio de algo. Uma vez que nosso estudo propõe uma investigação das formas de uso dos processos de representação, uma aquisição importante neste momento trata de entender os atributos envolvidos na relação entre a coisa a ser representada e seu representante.

Um dos riscos iniciais que se corre no trato com o processo de representação é assumir igualdade entre o representante e a coisa a ser representada. Para boa parte das situações representativas essa suposição indica posição ingênua frente ao problema, entretanto há momentos nos quais lidamos com essa relação de igualdade entre uma coisa e seu signo, talvez embalados por uma grande confiança nesse representante. Em alguns enunciados que são colocados no ensino de química é comum referir-se à representação da molécula como se fosse a própria molécula que se quer representar.

Uma alternativa explicativa poderia nos informar que nesses casos o sujeito desses enunciados pressupõe uma ‘quase-corporificação’ da coisa a ser representada por seu representante. Todavia, assumir essa posição pode ser desconfortável e outro caminho seria reconhecer que não haja igualdade, mas que a pretensão do signo seja somente representar qualidades do ente químico. Nesse caso assumem-se também as dificuldades de se fazer representar algo com supostas características dinâmicas tal como uma molécula. Essa última alternativa talvez não reflita os usos das salas de aula nem dos artigos encontrados na literatura. Parece-nos que o desejo por meio da representação estrutural é ter a coisa diante de si, estar mesmo na frente do objeto. Joachim Schummer (1998) concorda que na química essa correlação entre o representante e a coisa pode se tornar tão necessária que a insistência em tentar refutá-la indicaria “certo risco de esquizofrenia” (SCHUMMER, 1998).

Mesmo assim, considerar igualdade entre o representante e o representado não significa colocar o objeto diante do sujeito, aniquilando o sistema representativo, devemos considerar a movimentação de sentido do representante para a igualdade como um movimento simbólico e não como um processo ontológico. Não há necessidade ontológica de presença do

objeto no processo de representação, na verdade supô-la é rejeitar a representação, podemos inclusive representar graficamente coisas que não existem e manter a atribuição de sentido.

A reflexão sobre o sentido da igualdade é uma das questões colocadas como ponto de partida na filosofia de Friedrich Ludwig Gottlob Frege (1848-1925) para tratar da distinção entre referência e sentido. Para Frege a igualdade deve ser considerada como uma relação entre signos e não uma relação entre objetos. Frege é o responsável pela defesa da idéia de que o sentido é uma forma de representação da referência (MUSKENS, 2005).

Um dos argumentos colocados por Frege acerca da igualdade trata dos diferentes valores cognitivos das proposições $a = a$ e $a = b$. A primeira nada nos ensina, pois opera em sentido tautológico, enquanto a segunda aumenta nosso conhecimento tanto sobre “ a ” quanto sobre “ b ”. Se a igualdade fosse uma relação entre objetos, quer dizer, entre aquilo a que “ a ” ou “ b ” faz referência, $a = a$ e $a = b$ não seriam proposições diferentes, nesse caso estaríamos apenas afirmando uma relação de igualdade entre os mesmos objetos. Na concepção de Frege esse tipo de associação é fundamental para que consigamos construir relações de sentido mais amplas. Por exemplo, a identificação de que o sol que nasce a cada manhã é o mesmo é uma conquista do conhecimento da astronomia e serviu a diversos propósitos na história da humanidade. Outro exemplo dado por Frege trata do reconhecimento do planeta Vênus como a “estrela da manhã ou a estrela da tarde” (ROBINSON, 1978, p. 38). Trata-se então da possibilidade de ampliar nosso conhecimento sobre algo, para além do reconhecimento de sua identidade.

As proposições de Frege nos servem tanto na missão de construção da identidade do objeto quanto à possibilidade desse tipo de construção conduzir a novos conceitos, e uma representação estrutural deve permitir ambas. Quanto a elaboração de um projeto de função significativa podemos dizer que Frege trabalha em sua matriz lógica, que mesmo em nossa opção teórica opera um papel importante.

O valor cognitivo da proposição $a = b$ relativamente a $a = a$ reside prioritariamente em “ a ” e “ b ” se referirem de modo diferente ao mesmo objeto. As proposições possuem sentidos diferentes, mas a mesma referência. Podemos dizer que eu, Waldmir, constituo uma referência única que pode ser alcançada por meio de diferentes sentidos. Quando se referem a mim como “filho de João Batista” o sentido é um, quando se referem como “pai da Camila”, o sentido é outro, mas o objeto da referência é o mesmo. Com esse mesmo caminho pode-se fazer referência a um objeto químico em meio a sistemas representativos no ensino. Cada tipo ou forma de representação escolhida em uma atividade na sala de aula pode valorizar um aspecto do objeto, guiar o aprendiz por um caminho até ele. Com relação à representação

estrutural temos exemplos desse tipo de semiose nas projeções, as quais representam um objeto por meio de diferentes aspectos e acabam por constituírem diferentes olhares na mesma direção, conforme propomos pelos exemplos da Figura 3.1.

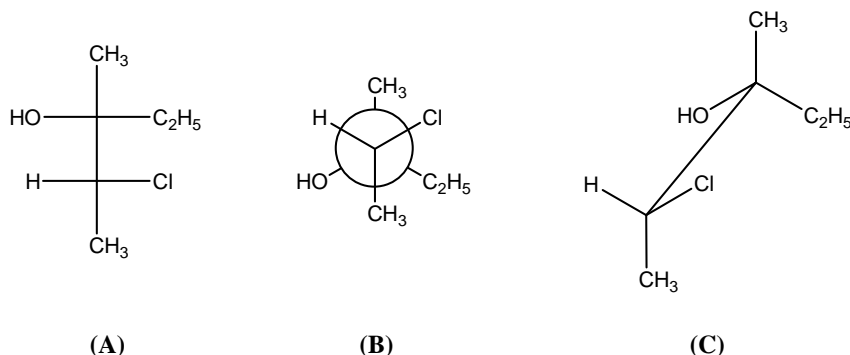


Figura 3.1. Projeções de Fisher (A), Newman (B) e cavalete (C) com relação a diferentes aspectos de uma molécula da substância 2-cloro-3-metilpentan-3-ol

A partir das representações da Figura 3.1 cabe perguntar se uma referência é necessária para a constituição desses três signos. As representações implicam a existência do objeto como referência necessária para constituição de sentido? Uma resposta dada por Frege revela que a um sentido pode corresponder uma referência ou não. Um exemplo é a noção de infinito, que possui sentido sem ter referência. Para Frege a representação é local de ação da subjetividade, o sentido é objetivo. A representação que alguém possui de um objeto é a representação dessa pessoa, e é diferente das representações que outras pessoas têm do mesmo objeto. Pode-se dizer que Frege condena a representação ao psicologismo e delega seus atributos a um relativismo acentuado.

Frege também propõe formas de distinguir a representação do pensamento e do objeto. A representação de que trata Frege é principalmente aquela dotada de função transcendental, inerente ao sujeito e atributo de sua inteligibilidade sobre as coisas. Frege inclui a representação em um estado psicológico de organização do sujeito, portanto representações são atributos intrapessoais. As representações são identificadas com o que pertence ao mundo interior: impressões sensíveis, criações do poder da imaginação, emoções, sentimentos, estados da alma, inclinações e desejos (BRANQUINHO, MURCHO, GOMES, 2006).

Ainda sob a influência de Frege tem-se que as representações são distintas das coisas do mundo exterior. Elas não podem ser objetos para quem as possui nem para os outros, cada um tem sua própria representação. Nesses termos, para Frege, uma representação nunca pode desempenhar o papel de referente de uma expressão que designa um objeto do mundo exterior. No caso da representação haveria sempre uma inadequação em relação ao representado, uma tentativa de adequar-se o mais possível ao que se deseja representar. Pode-

se pensar que há aqui um esvaziamento da função representativa, conforme proposto por Frege, mas pode-se tirar proveito desta semiose como anunciadora de um processo não referencial de atribuição de sentido (FAUSTINO, 2006).

Retomando as projeções dadas na Figura 3.1 pensamos imediatamente que a referência delas é uma molécula de 2-cloro-3-metilpentan-3-ol, contudo, tem-se que para algumas formas de uso em situações de ensino superior (ou ainda para sistemas representativos em livros didáticos) as projeções devem ser consideradas mais propriamente como representações de representações. Elas não são formuladas em seu uso como signos que pretendem referência ao objeto, mas constituem-se como formas de esclarecimento de outras tentativas representacionais. Tal qual a semiose considerada por Frege, as projeções reafirmam a incompletude de alcance pleno do objeto por meio de representações particulares, havendo então necessidade de uma cadeia de imbricações representativas.

A solução fregeana para a referência como significado foi criticada por Edmund Gustav Albrecht Husserl (1859-1938) em sua obra *Investigações Lógicas* cuja primeira edição em alemão ocorreu em 1901. Enquanto para Frege a referência está ligada ao valor de verdade de uma expressão ou enunciado (o significado dessa expressão), Husserl propõe a referência como ligada a um “estado de coisas” (PECORARO, 2008, p. 236). Isso quer dizer que não há necessidade de objeto ou de sua existência, podemos considerar significados em virtude de termos ou não objetos para referenciar, e caso haja ausência de objetos “presentificados”⁴⁴ podemos ter uma representação. Ainda assim, Frege e Husserl concordam quanto a multiplicidade de sentidos que pode ser atribuída a atividade simbólica e que nem todo signo tem um significado. A partir da crítica de Husserl, a noção de *estado de coisas* como uma referência para processos simbólicos vem ao encontro de nossa função representativa que busca alternativas para interpretar os diferentes usos da representação no trato com o estado dinâmico do objeto químico.

Para Husserl muitas das dificuldades encontradas no uso do termo representação podem ser superadas ao considerar-se distinção entre “objeto da representação e conteúdo da representação” (HUSSERL, 1962, p. 322). O conteúdo de uma representação pode ser seu sentido, mas também não é dado que se consiga distinguir um conteúdo exclusivo no caso de um objeto representado⁴⁵. Para Husserl, o conteúdo é a “essência intencional do ato de representar” (HUSSERL, 1962, p. 323) e pode ser admitido como a “soma de todas as

⁴⁴ Isso quer dizer presentes no ato da apreensão

⁴⁵ As reflexões de Husserl se estendem amplamente no seio fenomenológico do processo representativo, alcançando inclusive o modo de atribuição de sentido ao sujeito.

propriedades do objeto que podem ser alcançadas por meio da representação”⁴⁶ (ibidem). Husserl critica de forma intensa o uso meramente instrumental da representação como processo de substituição e por isso qualificamos sua filosofia como fundamental à nossa discussão nesse momento inicial. A partir de suas críticas aos pressupostos da razão pura também encontramos uma aproximação inicial ao requerimento mediato do processo representativo. Segundo Pecoraro (2008) a representação em Husserl se opõe à “presentificação direta” (PECORARO, 2008, p. 239) e só pode ser dada por diferentes modos para a aquisição do objeto.

A fenomenologia semiótica de Husserl diferencia signos que representam e que não representam, sendo que os símbolos pertencem à classe dos signos representativos. Um signo representativo é intencional e produz significados, por outro lado, um indício não possui “função significativa” (SANTAELLA E NÖTH, 2005, p. 20). Novamente destacamos que a incompletude para o alcance do objeto não enfraquece o papel do signo gráfico na semiose da representação estrutural, mas conduz à necessidade de uso de cadeias representativas imbricadas, nas quais conhecer tal imbricação é condição para se conseguir transpor⁴⁷ conteúdo de uma representação a outra. Nesse sistema imbricado e intercambiável de representações de representações não há privilégio para nenhum signo⁴⁸.

O sistema de imbricações característico de um processo representativo na proposta de Husserl é constituído por um meio medial simbólico, aquilo que o autor considera como “representações mediatas” (HUSSERL, 2000, p. 78). O processo de representação mediato inclui representações de representações, pois uma forma representacional mediata visa um objeto por meio de certas representações, sendo que um processo de representação mediato é aquele no qual não se pode ter o objeto diante de si. Assim Husserl considera o valor funcional das representações simbólicas como estruturas que medeiam processos de significação.

Nas representações simbólicas o conteúdo não é dado diretamente à consciência (pois ocorre uma atividade medial), em oposição às representações próprias, nas quais o conteúdo é dado diretamente. Uma representação própria só é possível dar-se na presença daquilo que se

⁴⁶ A noção de conteúdo simbólico também é importante nos estudos lingüísticos do dinamarquês Louis Hjelmslev (1899-1965), para quem o conteúdo é um elemento de constituição de uma *função semiótica* (COELHO NETTO, 2003, p. 31).

⁴⁷ Franz Brentano (1838-1917) designa essa propriedade como convertibilidade (FIDALGO, 1988).

⁴⁸ Nesses termos, talvez seja estranho considerar qualquer desses signos como modelos. Uma vez que modelos podem ser considerados como formas privilegiadas de uso e, uma vez que não há privilégio de nenhum signo gráfico, não há modelos, mas sim representações em uma espécie de ‘disputa semiótica’ para a aquisição de significados. A eleição de um signo gráfico como modelo poderia se constituir ao final como uma atividade idiossincrática, ou convencional para determinada forma de uso.

quer ter como representado. No caso de termos utilizado quaisquer elementos da linguagem (por exemplo: a fala, a escrita ou a iconografia), temos um modo de representação simbólico. As características atribuídas ao objeto por meio da representação simbólica permitem seu reconhecimento posterior, o que permite também, com manutenção do critério de verdade, que juízos feitos com base em representações simbólicas sejam estendidos ao próprio objeto (FIDALGO, 1988, p. 41).

Tanto os objetos com origem na intuição sensível, quanto àqueles concebidos de forma abstrata podem ser representados simbolicamente, sejam eles idéias, conceitos, formas ou os mais diferentes conteúdos do pensamento. As representações em aritmética e o trabalho com as operações de adição e subtração, por exemplo, são simbólicos e só podem ser simbólicos. Para Husserl os conceitos não são dados à inteligibilidade de modo próprio, mas de modo simbólico. As representações chamadas por Husserl de impróprias ou simbólicas significam representações mediadas por signos (FIDALGO, 1988, p. 43). O signo de uma coisa é aquilo que a distingue, aquilo que permite que seja diferenciada de outras. Contudo, o signo é aquilo que permite reconhecer a referência novamente, o conceito de signo é necessariamente relacional.

Para Husserl, os signos possuem um papel muito importante, tanto no pensamento em geral quanto na ciência, e acreditamos que podem ser considerados, assim como na Teoria Histórico-cultural de Lev Vigotski, como ferramentas que possibilitam a aquisição de funções psicológicas superiores. A simetria que propomos entre as propostas de Husserl e Vigotski é inferida a partir de semelhanças que podem ser encontradas nas analogias que os dois autores fazem ao tratar do uso de signos em sistemas semióticos. Ambos comparam esses meios mediais com ferramentas na realização de diferentes tipos de trabalhos. Destaca-se a seguir um trecho no qual Husserl considera a atividade dos signos como ferramentas que servem ao intelecto, comparando-as a ferramentas de produção em atividades laborais.

Os símbolos são o maior meio de ajuda natural com que ultrapassamos os limites estreitos da nossa vida psíquica, com que podemos tornar inofensivas, pelo menos até certo grau, estas imperfeições essenciais do nosso intelecto. Por desvios peculiares, poupando atos superiores do pensamento, capacita o espírito humano a realizações que diretamente, com um trabalho gnosiológico próprio, nunca poderia alcançar.

Os símbolos servem à economia do trabalho intelectual tal como as ferramentas e as máquinas servem ao trabalho mecânico. Com a simples mão, o melhor desenhista não traçará tão bem um círculo como um rapaz de escola com o compasso. O homem mais inexperiente e mais fraco produzirá com uma máquina (desde que a saiba manejar) incomparavelmente mais que o mais experiente e mais forte sem ela.

E o mesmo se passa no campo intelectual. (HUSSERL, 1891 apud FIDALGO, 1988, p. 349)⁴⁹.

É notadamente impressivo o modo como Husserl se refere aos símbolos e à atividade simbólica no livro *Filosofia da Aritmética*. Suas asserções e analogias ao modo de produção no mundo do trabalho permitem um vislumbre de confluência quanto à síntese apontada por Vygotsky, ao tratar do papel das ferramentas nas funções psicológicas superiores. Contudo, ainda há necessidade de prosseguir na direção de conquistar maior estabilidade epistemológica para nossa função representativa. Devem-se buscar complementos sobre a ação do símbolo e de seu papel na relação da coisa com seu representante.

Segundo Noth (2003) a fenomenologia de Husserl foi criticada por Charles Sanders Peirce (1839-1914) no que se refere à restrição de significação imposta aos tipos de signos, pois para Peirce a atividade dos signos pode recorrer a uma forma em “cadeia ilimitada” (NÖTH, 2003, p. 11). Mesmo não impondo uma crise ao processo de representação, as críticas de Peirce denotam que admitir signos que não representam constitui uma contradição. A partir desse pressuposto Peirce oferece uma nova forma de interpretar a representação com um sistema que procura esclarecer como a atividade simbólica pode ser diferenciada, mas inserida em uma forma medial com relação a esses diferentes tipos de signos.

3.2 Em defesa da atividade simbólica do signo gráfico da representação estrutural

Nossa busca por uma função representativa a partir das formas de uso encontrou nos trabalhos de Gottlob Frege e de Edmund Husserl um esclarecimento inicial da atividade do signo em relação ao seu objeto. Contudo, há nesse escopo algumas limitações para o símbolo no processo de representação que podem ser dissolvidas com as considerações sobre sua atividade tal como propostas por Peirce.

Um tanto em comum com a estratégia Husserliana, a semiótica de Charles Sanders Peirce⁵⁰ também está ancorada na fenomenologia e na lógica. Além de um conjunto de potencialidades lingüísticas, o signo pode assumir-se como ação, movimento e ato. Ele pode incluir, tal como indicado por Husserl, o próprio estado das coisas. Os efeitos interpretativos

⁴⁹ Edmund Husserl em seu texto de 1891, *Filosofia da Aritmética*.

⁵⁰ Peirce obteve doutoramento em química em 1863, contudo, seu objetivo pessoal desde a tenra idade era o estudo da filosofia. Peirce conhecia e foi estudioso do trabalho de Kant, principalmente da *Crítica da Razão Pura* publicada inicialmente em 1781. O entendimento da semiótica como lógica está ancorado no quadro de uma corrente de pensamento denominada por Peirce de *Pragmaticismo* (SANTAELLA, 2005).

que advém da representação por meio de signos não precisam ser bem organizados, e sua intenção é permitir uma análise do mundo (PEIRCE, 2003). Mas de forma diferenciada de Husserl, para Peirce tudo pode ser signo, e o signo é sempre mediador no processo representativo que pode ser descrito pela tríade apresentada na Figura 3.2.

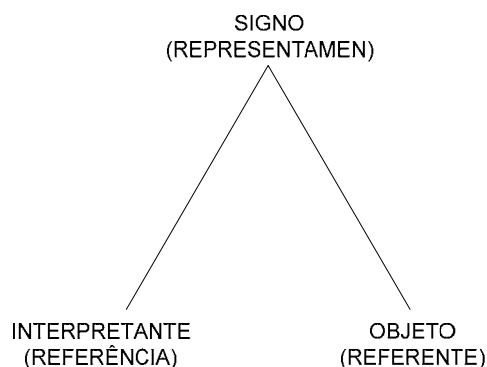


Figura 3.2. Tríade representativa em Peirce (2003).

Na perspectiva representativa proposta por Pierce pode ser associado ao signo qualquer coisa, de qualquer espécie, que representa uma coisa, chamada de objeto do signo. Esse signo produz um efeito interpretativo em sujeitos reais ou potenciais, chamados de interpretantes do signo (SANTAELLA, 2005). Cada um dos três elementos: signo, objeto e interpretante possui uma posição lógica que define a estrutura do processo representativo. A seguir vamos explorar as asserções de Peirce para as categorias relacionais entre o signo e seu objeto.

São três os tipos de relação que um signo pode ter com seu objeto. Se o fundamento da relação do signo com o objeto for de qualidade, o signo será um *ícone*. Quando a relação é de existência, o signo é um *índice*. No caso de uma relação de condicionamento por meio de leis, o signo é um *símbolo*. Santaella (2005) apresenta três verbos: sugerir, indicar e representar, para uma designação de conteúdo semântico de ícones, índices e símbolos, respectivamente.

Ícones são signos que fazem referência aos seus objetos por similaridade. O ícone é um signo que possui algo de semelhante com o objeto representado. Os signos icônicos são divididos em: imagem, diagrama e metáfora. A imagem estabelece uma relação de semelhança com seu objeto somente no nível da aparência. O diagrama representa seu objeto por similaridade de relações internas. E a metáfora representa seu objeto por similaridade no significado, ocorre um processo de identificação entre representante e o representado.

Índices são signos que permitem estabelecer uma conexão existencial e singular entre representante e representado. O índice é um signo que se refere ao objeto denotado em virtude de ser diretamente afetado por esse objeto. As possibilidades de representar de um índice são

sempre determinadas por uma relação de existência, há uma comunhão espaço-temporal entre o signo e seu objeto. O que determina um índice é o modo especial como ele indica seu objeto. Enquanto o ícone representa por relações de semelhança, um índice representa por uma conexão factual⁵¹.

Quando o sistema representativo é organizado por meio de leis, acordos, ou um sistema de enunciados organizativos, tem-se a ação de um símbolo. O símbolo é um signo que se refere ao seu objeto em virtude de uma associação de idéias produzida por uma convenção. O caráter representativo de um símbolo consiste em ser uma regra que determinará seu interpretante. Palavras e frases são símbolos. Um símbolo é uma lei ou um conjunto de leis, uma regularidade. Um símbolo genuíno é aquele que possui significado geral (PEIRCE, 2003, p. 71). Pode haver duas espécies de símbolos degenerados: o símbolo singular e o símbolo abstrato. Para o símbolo singular o objeto de sua referência é individual, único, e o símbolo significa apenas os caracteres que a este objeto único pertencem. No símbolo abstrato o objeto de referência é um caráter.

Como nos informa Santaella e Nöth (2005), é por meio da força de uma idéia em uso por um sujeito que o símbolo se relaciona com seu objeto. O símbolo não se liga àquilo que representa por meio de similaridade (caso do ícone), nem por conexão causal, factual, física ou concreta (caso do índice). No caso do símbolo, para esses autores, e a partir da classificação do processo representativo simbólico, prevalece a mediação:

A relação entre símbolo e seu objeto se dá através de uma mediação, normalmente uma associação de idéias que opera de modo a fazer com que o símbolo seja interpretado como se referindo àquele objeto. Essa associação de idéias é um hábito ou lei adquirida que fará com que o símbolo seja tomado como representativo de algo diferente dele. Para assim funcionar [...] ele é uma lei [...] uma regra que determinará que seja interpretado como se referindo a um dado objeto (SANTAELLA e NÖTH, 2005, p. 63).

Assim como no caso dos signos gráficos da representação estrutural, os símbolos não possuem existência concreta, não são coisas com uma singularidade, com existência. As formas de uso de tais signos gráficos oferecem uma oportunidade de entender o esforço realizado para acomodar essa ontologia especial à conquista da ‘visualização’ da estrutura na sua ausência. Isso deve ser conseguido pela aquisição do sistema legal subjacente ao signo gráfico dessa representação estrutural, tais como: regras de valência, capacidade de combinação, orientações espaciais a partir de impedimentos, acomodação rotacional e vibracional, etc. Há um sistema legal, que se denomina nesta tese como *base normativa*, com

⁵¹ A fumaça é signo indicial de fogo, o campo molhado indica que choveu.

ampla distribuição no processo semiótico e que organiza o estatuto simbólico dos signos gráficos, como destacam Santaella e Nöth (2005).

O símbolo ou lei que governa os individuais depende de casos individuais para se materializar, assim como deve haver casos existentes daquilo que o símbolo denota. O objeto do símbolo é tão geral quanto ele próprio, mas há casos singulares a que o geral se aplica, embora “existente” e “singular” tenham de ser considerados dentro de um universo possivelmente imaginário ao qual o símbolo se refere (SANTAELLA e NÖTH, 2005, p. 64).

A proposição de que a representação estrutural se mantém por meio de uma relação simbólica com seu objeto é fortalecida quando se percebe na literatura específica da área algumas situações, nas quais podem ser destacadas estruturas como referentes em processos representacionais que usam signos gráficos. Nesses casos parece adequado interpretar o objeto da representação como sendo constituído por uma malha de relações legais que controlam e organizam também sua ontologia. Na Figura 3.3 temos como exemplo uma situação em um artigo da área de química (ESTEVES; FERREIRA; CORRÊA, 2005)⁵², na qual são considerados dois arranjos espaciais para entes químicos de mesma constituição.

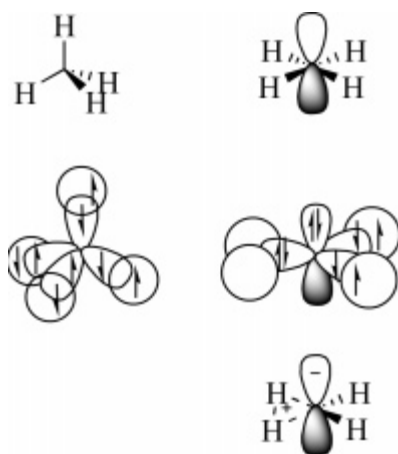


Figura 3.3. Representações para o átomo de carbono tetra-coordenado (ESTEVES; FERREIRA; CORRÊA, 2005, p. 8680)

As cinco representações na Figura 3.3 correspondem a dois arranjos espaciais distintos: (1) com duas estruturas tetraédricas, e (2) com três estruturas planas, ambas constituídas por um átomo de carbono em ligação a quatro átomos de hidrogênio. O sistema simbólico proposto neste momento do artigo serve de suporte ao debate entre dois tipos de arranjos. O primeiro é um dos pilares da teoria estrutural da química orgânica, amplamente aceito pela comunidade e corroborado em diversas instâncias empíricas. O segundo é uma proposição teórica, não tendo sido confirmado empiricamente. Isso pode conduzir a um critério de distinção ontológico: o primeiro tipo de arranjo trata de coisas que existem, e o

⁵² Publicado no *Journal of American Chemical Society*.

segundo de coisas que não existem. Ainda assim, há para ambos os casos um sistema legal, tanto do ponto de vista convencional⁵³ quanto conceitual⁵⁴, que controla a proposta de representação simbólica seja de um ente químico que ‘não existe’, ou de um ente químico que ‘existe’. Tem-se que não é a ontologia que dá garantias de realização ao processo de representação estrutural, nem ao menos se pode recorrer a certo domínio empírico para tanto. Ao contrário, o movimento epistemológico proposto é o de se colocar a representação como componente de um sistema de hipóteses testáveis, sendo os elementos desse processo semiótico constituído a partir de um conjunto de leis, teorias, conceitos, ou seja, uma *base normativa*.

Ainda que a ontologia não consiga fornecer garantias para a ação do signo, o recurso à base normativa pode constituir um apelo final para a superação de contradições com relação a certos conteúdos em alguns sistemas representativos. Nesses casos podemos decidir se uma representação pode ser a possibilidade de algo, ou algo com uma possível contrapartida no estado das coisas do mundo. Esse procedimento fornece recursos para a criação de critérios de verdade a serem atribuídos ao domínio representativo. Considere-se como exemplo o desenho na Figura 3.4, a partir do qual se pretende determinar o volume da peça de formato triangular que pode ser construída, atendendo aos encaixes representados, pela ligação dos três cubos de aresta 1 u com os três paralelepípedos retos retângulo de aresta lateral 4 u (ERNST, 2006).

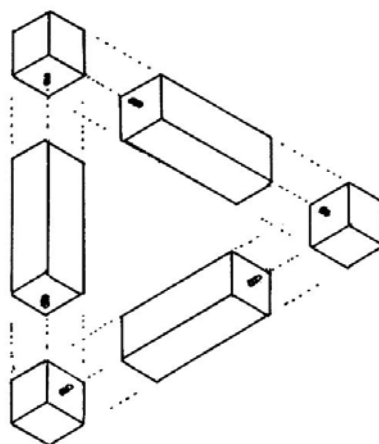


Figura 3.4: Representação da construção de um triângulo com propriedade peculiar (ERNST, 2006, p. 16)

Uma resposta imediata que pode ser dada ao olhar para a composição do desenho na Figura 3.4 é de $15 u^3$. Contudo, deve-se perceber que a peça em questão não pode ser montada

⁵³ Há convenções tais como representar elementos para frente de um plano, para trás de um plano, o símbolo do elemento, a representação dos elétrons ligantes e não ligantes, etc.

⁵⁴ Tomo aqui como sistema conceitual o conjunto de atributos de caráter epistêmico: leis, teorias, hipóteses, etc.

a partir da conexão de seus pinos, pois possui uma incongruência lógica. Partindo-se de qualquer vértice do triângulo proposto, de qualquer cubo, pode-se montar a peça até alcançar o último paralelepípedo, que não encaixará no cubo inicial. Para perceber essa limitação se pode recorrer ao que consideramos a *base normativa* da representação simbólica. A representação não possui contrapartida no real, configurando-se o seu referente como uma impossibilidade factual. Com esse recurso, adequação à base normativa, há possibilidade de inferir sobre a ontologia do ente pretendido por meio da representação. De algum modo o controle exercido pela base normativa permite predicar acerca desse status.

Mesmo assim, não se pode admitir que somente a base normativa seja suficiente para constituir um terreno seguro para o significado do símbolo. A mesma literatura que esclarece sobre as possibilidades simbólicas de uso do signo gráfico, adverte para a tensão dialética entre ícone e índice, por exemplo, que pode ocorrer no interior de um símbolo (SANTAELLA e NÖTH, 2005, p. 37). Outra questão colocada por Peirce sobre a atividade dos símbolos configura-se como um desafio, ao assinalar que este elemento do processo semiótico pode não indicar uma coisa particular qualquer, mas denotar uma espécie de coisa (PEIRCE, 2003, p. 73). Contudo, a partir do trecho destacado a seguir recoloca-se a possibilidade de que os signos em estudo aqui funcionem como símbolos.

Um signo é um ícone, um índice ou um símbolo. Um ícone é um signo que possuiria o caráter que o torna significante, mesmo que seu objeto não existisse, tal como um risco feito a lápis representando uma linha geométrica. Um índice é um signo que de repente perderia seu caráter que o torna um signo caso seu objeto fosse removido, mas que não perderia esse caráter se não houvesse interpretante. Tal é, por exemplo, o caso de um molde com um buraco de bala como signo de um tiro, pois sem o tiro não teria havido buraco; porém nele existe um buraco, quer tenha alguém ou não capacidade de atribuí-lo a um tiro. Um símbolo é um signo que perderia o caráter que o torna um signo se não houvesse um interpretante. Tal é o caso de qualquer elocução de discurso que significa aquilo que significa apenas por força de compreender-se que possui essa significação (PEIRCE, 2003, p. 74).

No trecho anterior destaca-se o caráter simbólico como sujeito-dependente, ou como inerente a uma determinada comunidade que elegeu um símbolo como representante de uma classe de objetos. Nesse caso, poderíamos atribuir até o momento que uma representação estrutural é justamente um símbolo para uma classe de coisas.

3.3 Uma Filosofia das formas simbólicas para a Química

Nossas pretensões sobre o estudo das formas de uso de representações estruturais, em situações de ensino superior de química, consideram fazer a interpretação fornecida por Ernst Cassirer, em seu texto sobre a *Filosofia das Formas Simbólicas*, aliada de uma nova maneira de interpretar a representação na química. Para Cassirer as coisas, seus estados e suas propriedades não são conteúdos dados na consciência, mas sim os modos e as direções da forma como a consciência opera. A forma simbólica é uma direção emprestada pelo sentido. A realidade não preexiste e uma forma simbólica não é o reflexo de algo que existe de forma independente, mas ao contrário, algo só pode se tornar compreensível por meio de uma forma simbólica.

Segundo Jürgen Habermas (2001), desde o início de sua formação acadêmica Cassirer incluía questões epistemológicas em contextos culturais historicamente específicos. Dentre outros, Cassirer estudou a emergência do conceito moderno de natureza na renascença. Por exemplo, ele declara em *O Problema do Conhecimento na Filosofia e Ciência na Idade Moderna* de 1906 que a moderna concepção de conhecimento científico-natural emergiu da confluência de uma variedade de forças culturais e intelectuais, e aposta na necessidade de sistemas filosóficos individuais estarem atrelados às forças provindas da cultura intelectual em geral (HABERMAS, 2001, p. 6)

As proposições encontradas nos três volumes da *Filosofia das Formas Simbólicas* são reflexos da influência exercida em Cassirer pelo material de pesquisa encontrado na biblioteca de Warburg⁵⁵. Habermas (2001, p. 7) nos apresenta que a questão antropológica de partida que comanda o mergulho de Cassirer na expressão do mundo simbólico se refere a uma reflexão de Warburg acerca da força da criação artística: a criação de uma distância consciente entre si mesmo e o mundo externo pode ser chamada de ato fundamental da civilização. Esta idéia é formulada por Cassirer em termos conceituais: o fato de o contato sensorio ser transformado em algo significativo pelo uso de símbolos é a característica definidora da existência humana, e também constitui, de um ponto de vista normativo, a característica básica do modo de existência humano. O potencial de objetivação (alcance do objeto) da “mediação simbólica” (HABERMAS, 2001, p. 7) rompe com a imediação animal e “incide sobre o organismo humano, por dentro e por fora” (ibidem).

⁵⁵ Aby Moritz Warburg (1866-1929) foi um influente historiador da arte, nascido em Hamburgo de uma família de banqueiros. Warburg dedicou-se ao estudo da arqueologia, história da arte, medicina e psicologia. A partir de 1896 iniciou a construção de uma biblioteca que deveria servir tanto a suas consultas particulares como ao ensino público, focalizando seus trabalhos em cultura e artes.

Cassirer procurou romper com a *Lebensphilosophie*, característica da república de Weimar⁵⁶, enfatizando o caráter mediador das palavras e dos instrumentos de linguagem na relação dos homens com o mundo. O processo de simbolização torna os seres humanos diferenciados enquanto existência no mundo, e são as relações simbólicas por meio do mito, arte, linguagem e ciência (formas simbólicas) que lhes conferem os atributos psicológicos típicos de uma forma de vida humana. O estudo das formas simbólicas permitiu Cassirer rever a semiótica da filosofia transcendental, sob o crivo da filosofia da linguagem, mormente sob a influência de Wilhelm von Humboldt (1767-1835).

O que Cassirer realizou consiste em uma “transformação semiótica” (HABERMAS, 2001, p. 12) da filosofia transcendental kantiana. Na tradição filosófica, a linguagem foi sempre analisada como um meio de nomeação ou designação: fornecem-se nomes para objetos representados, e por meio disso se constrói um sistema de marcadores que facilitam o pensamento e tornam possível a comunicação sobre pensamentos e idéias. A linguagem se torna um meio entre aquilo que é representado e a representação. O que Cassirer toma de Humboldt é a concepção de linguagem dotada de uma função de descoberta. Ela se torna uma força produtiva que mais do que uma maneira de representar coisas que são conhecidas, destaca-se como uma forma de descobrir aquilo que era previamente desconhecido. A referência a objetos existentes é uma função importante da linguagem, contudo essa função produtiva nos parece muito peculiar e própria inclusive do processo criativo que se instala a partir de representações estruturais.

Uma das missões pertinente aos processos de representação no ensino de química refere-se ao confronto e distinção entre fatos do mundo, ou seus estados, e símbolos que possam estar em relação com eles. Uma vez que os estados das coisas do mundo não podem necessariamente ser sempre transportados para as situações nas quais precisam ser evocados, seja, por exemplo, em ações discursivas ou reflexivas, tais relações entre os símbolos e os estados das coisas demandam características nas quais se credita certa especificidade. Nos termos propostos por Cassirer, não há fatos absolutos ou dados imutáveis, somente proposições orientadas teoricamente em alguma medida. Os procedimentos de aquisição de fatos são praticados sempre em consideração a alguma coisa. A orientação teórica dos fatos não é um processo de simples adição do teórico ao factual, ela modifica aquilo que

⁵⁶ De forma muito geral, os argumentos sustentados pela *Lebensphilosophie* preconizavam a rejeição à razão enquanto instrumento epistemológico, característica de parte relevante do meio intelectual da república de Weimar, instalada na Alemanha após a primeira guerra mundial. Esse movimento pretendia ser uma crítica contundente ao positivismo, ao mecanicismo e ao materialismo, entendidos como correntes da ciência tradicional que não respondiam às demandas daquele momento. Em um escopo notadamente pragmático, era imprescindível para o cientista, oferecer respostas a uma sociedade decepcionada com os resultados da guerra (SILVA, 2003).

pretendemos como processo de apreensão e interpretação dos fatos. Quanto ao processo representativo que pretendemos delinear em nossa pesquisa, tem-se que essa postura de relativização do objeto pode emergir a partir da contingência encontrada na utilização de diferentes formas de representação. Os estados das coisas designados por símbolos podem ser interpretados por diferentes modos de representação.

Poder-se-ia conferir esse aspecto da representação a uma instância lingüística particular, na qual diferentes modos de representação funcionariam como elementos articuladores de uma gramática específica. Os membros da comunidade que usam esse sistema semiótico encontram acesso ao mundo somente por meio dessa gramática, que deve ser necessariamente compartilhada em relação às múltiplas experiências a ela concernentes. Entretanto, a linguagem não joga um papel meramente instrumental, ela proporciona uma atividade constitutiva do sujeito no mundo.

Afastando-se do modelo mentalístico, no qual a representação conecta uma idéia pré-existente imaterial a um objeto material, Cassirer defende que é o sujeito que mantém os processos nos quais formas simbólicas estruturadas são mantidas e renovadas. Há um “meio simbólico” (HABERMAS, 2001, p. 14) que contém tanto o interno e o externo, não há necessidade de se opor o sujeito ao objeto e conectá-los somente por meio de representações. As funções intelectuais contêm estruturas representativas que têm como objetivo libertar sujeitos, abrir-los para o mundo, permitir que possam constituí-lo em torno de si. Em uma tentativa de ampliar as noções kantianas, Cassirer propõe que as atividades do juízo só se tornam possíveis por meio da “intervenção mediadora da linguagem” (HABERMAS, 2001, p. 16).

No propósito de determinação do papel da linguagem, Cassirer destaca que a elaboração conceitual funciona como uma atividade de organização, e opõe-se a assunção de que conceitos podem ser cópias de estruturas ou de essências (em sentido platônico) das “coisas em si”⁵⁷ (ibidem). Conceitos criam novas possibilidades de comparação, permitindo a emergência de novas relações entre o semelhante e o distinto. Uma síntese conceitual dependeria do poder unificador dos signos, de sua capacidade de funcionar como elemento de associação entre atividades, processos ou procedimentos. Os sistemas simbólicos criam o caminho para uma elaboração conceitual. Objetos representados com o auxílio de sistemas conceituais possuem existência somente no terreno criado pela própria representação

⁵⁷ *ding-an-sich*

simbólica, não há como se ter nenhuma atribuição de existência fora do domínio expressivo ou interpretativo criado por esse terreno simbólico.

Cassirer entende o processo de criação do símbolo como uma interação entre tendências contrárias. O significado simbólico pode surgir tanto a partir da produção de significantes quanto a partir da articulação de dados em diferentes domínios da experiência. A tensão entre uma dimensão totalmente imagética ou plenamente simbólica e aquela inundada de valores sensoriais, é a marca de produção das formas simbólicas, que podem ser qualificadas em três modos: (i) *função expressiva* – quando o encantamento e a fascinação levam a impressão sensível a congelar em uma forma pictórica; (ii) *função significativa* – quando prevalece a elaboração conceitual e existe uma articulação prioritária entre noções abstratas; (iii) *função representativa* – quando as duas funções anteriores operam em equilíbrio. Apresenta-se na Figura 3.5 uma imagem construída a partir das relações entre as funções das formas simbólicas apresentadas por Cassirer.

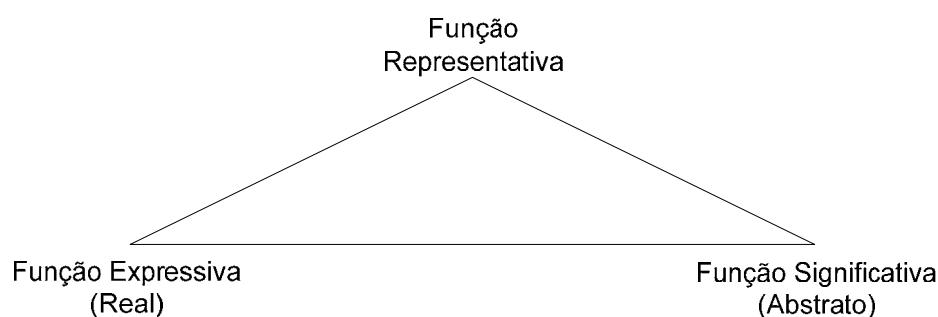


Figura 3.5. Relações entre as funções das formas simbólicas.

Na imagem acima tomamos o processo constitutivo da função representativa como uma atividade mediadora entre o real-expressivo e o significativo-abstrato. Trata-se de uma formulação imagética advinda das reflexões para este trabalho, não se encontrando no texto original de Cassirer. Contudo, acredita-se que esta formulação representa (no sentido mais amplo daquilo que se propõe pelo termo) o cerne de nossa tentativa de aproximação da *Filosofia das Formas Simbólicas* com a atividade mediadora em Vigotski. Assim como a partir de Vigotski tem-se na descontextualização um procedimento para serem alcançados processos concernentes às funções mentais superiores, na *Filosofia das Formas Simbólicas* encontra-se um movimento na mesma direção que prepara para uma nova forma de uso dos signos.

Com relação aos vértices do triângulo proposto na Figura 3.5 temos que na função expressiva a atividade simbólica é saturada com metáforas, e geralmente caracterizada por gestos, expressões corpóreas ou movimentos demonstrativos. Neste ponto os signos estão

fundidos com os objetos que se quer designar e com seu significado. A analogia, por exemplo, ainda cumpre funções de expressividade. A atividade simbólica adquire funções representativas quando pode ser relacionada a coisas por meio de processos de representação que estão conectados a situações específicas, mas de forma independente de contextos determinados. Isto é, segundo Cassirer, o amplo modo de produção característico de nossa linguagem no dia a dia. Apenas a linguagem das ciências estaria mais próxima de uma função significativa, a qual operaria em um sentido muito próximo daquele que se toma emprestado de Frege, escapando dos contextos e refletindo somente padrões abstratos.

O caminho para a aquisição do processo de abstração pode ser pontilhado com conquistas razoavelmente distantes das intenções de Frege e Husserl, ou daqueles que marcaram a atividade simbólica no plano da dicotomia mente-objeto. Tal processo, para Cassirer, tem sua atividade marcada tanto no interior como entre as formas simbólicas, e constitui uma possibilidade de libertação do sujeito das amarras do mito de suas formas primitivas de interpretação do mundo. A atividade semiótica que se manifesta nas formas simbólicas apresenta-se sob o aspecto de *diretivas* para a produção de objetos de representação, por exemplo, o caso do número. As formas simbólicas são processos dinâmicos de simbolização que não são reflexos diretos da realidade externa, mas que permitem, no sentido contrário, ter acesso a ela.

As formas conceituais propostas por toda e qualquer ciência e os meios pelos quais se propõe as suas questões e soluções não podem ser tomados como reproduções de um dado objeto (como um fato simples e analisável), mas como “símbolos intelectuais” (CASSIRER, 1998, p. 368) criados por estas mesmas ciências. O papel que joga o símbolo na filosofia de Cassirer é o de um tijolo na estrutura do prédio das formas simbólicas, não provê fundação, mas dá forma. Os símbolos são estruturas forjadas, nas quais a comunicação com seus objetos não considera a conformidade de aparências. A apresentação de um objeto depende de um sistema de conceitos e as tentativas de alcançá-lo (objetivações) devem ser consideradas mediações. Cada uma das ciências (química, física, biologia, etc.) possui um esquema próprio de mediação objeto–signo, assim como também o tem os outros elementos das formas simbólicas.

As funções das formas simbólicas produzem os modos de conhecer as relações entre o signo e seu significado. Tais relações podem ser indicadas como: expressão, representação e significação. A relação de expressividade é típica do mito. Nessa relação, há uma identidade entre o signo e o significado. O signo se confunde com o significado, ambos estão fundidos. Na expressão, os símbolos não representam a coisa, mas se confundem com ela; o nome, a

imagem, toma o lugar e os atributos da própria coisa que designa. Esse fato está na base da experiência mágica com o mundo. Na relação de representação há uma separação entre o signo e o significado, e ela é característica, por exemplo, da linguagem. O nome está no lugar da coisa de forma convencional e serve para representá-la. Já a relação de significado, segundo Cassirer é típica da ciência.

Uma preocupação da *Filosofia das Formas Simbólicas* é quanto às formas mais primitivas de representação do mundo. Cassirer defende que a experiência humana deriva sua forma e estrutura de sua relação com um conjunto de signos e não de sua relação com algo “dado”. A experiência sensorial humana nunca é uma experiência de meras sensações, mas sim uma relação de um objeto em um mundo organizado a partir de signos. A experiência de algo que é parte de um estado de coisas do mundo é dito por Cassirer como sendo uma *intuição*. O mundo e sua semiose (ação do signo) têm em comum certa forma ou estrutura.

O tipo mais primitivo de sentido simbólico é o *sentido expressivo*. Ele é o resultado do que Cassirer chama de *função expressiva*⁵⁸ do pensamento, a qual se relaciona com a experiência de eventos com importância afetiva que ocorrem no mundo a nossa volta. Situações que envolvem ampla carga emocional como: desejo ou rejeição, conforto ou ameaça, estão associados à função expressiva do pensamento. Nessa categoria repousa o conhecimento mítico e sua principal característica semiótica possui uma implicação ontológica que se refere à incapacidade instanciada de distinguir entre aparência e realidade.

A função expressiva manifesta um tipo de causalidade própria, por meio da qual cada parte contém literalmente o todo do qual é parte e pode exercer a eficácia causal do todo. Esse fato é apresentado por Cassirer em narrativas que revelam que o mundo mítico não consiste de formas estáveis e permanentes que manifestem suas propriedades a partir de diferentes ocasiões, mas associadas a eventos fugazes e complexos unidos por suas características afetivas e fisiognômicas. A ausência de uma função causal mais coerente faz com que a função expressiva possa implicar, muitas vezes, na incapacidade de diferenciar entre experiências no período de vigília e os sonhos, entre o vivo e o morto, e entre o nome do objeto e o objeto em si.

A segunda categoria é a *função representativa*⁵⁹ do pensamento, que produz o chamado *sentido simbólico representativo*. Nesse caso, o fluxo de características míticas e fisiognômicas convergem para formas estáveis, distinguíveis e identificáveis. De acordo com Cassirer, é na linguagem natural que a função representativa se torna perceptível, essa

⁵⁸ Do alemão *Ausdruckfunktion*

⁵⁹ Do alemão *Darstellungsfunktion*

função trabalha com uma orientação pragmática de que o mundo se apresenta ao sujeito a partir da utilização técnica e instrumental de ferramentas e artefatos. É por meio da linguagem natural que é construído o mundo intuitivo de percepções primárias que constituem o tempo e o espaço intuitivos. Quando um sujeito fala e utiliza partículas gramaticais e tempos verbais, especifica e localiza objetos percebidos em relação a sua posição espaço-temporal⁶⁰. Nessa categoria somos capazes de distinguir a coisa permanente, por um lado, de suas manifestações variáveis em diferentes ocasiões. Chegamos assim a uma distinção fundamental entre aparência e realidade.

A distinção entre aparência e realidade conduz dialeticamente a uma tensão e a uma nova tarefa para o pensamento, segundo Cassirer, essa é a tarefa da ciência teórica: a averiguação permanente quanto à verdade de proposições. Nesse ponto encontramos a terceira e final função do pensamento simbólico: a *função significativa*⁶¹. A função significativa utiliza predominantemente formas relacionais para a produção de sentido, e é aqui que Cassirer situa o desenvolvimento de conceitos científicos que encontram os caminhos para se tornarem livres das amarras da intuição sensível. Como exemplo de operação da função significativa, Cassirer cita os conceitos de espaço e de tempo na matemática que podem ser considerados como formas desvinculadas da intuição sensível. Tais conceitos surgem pela superação das relações com o sensível e abrem novas fronteiras para a possibilidade conceitual⁶².

3.4. Signo como ferramenta medial simbólica na Química

Para que uma função representativa possa adquirir os requisitos da atividade medial simbólica, entende-se que se deva avaliar seu modo de produção filosófico mas também seu uso como ferramenta de mediação semiótica, apoiando-se agora nas proposições de Lev Vigotski.

Para Vigotski, as funções mentais superiores devem ser vistas como produto de uma atividade mediada. Suas idéias acerca da mediação estão ancoradas nos conceitos marxistas que tratavam as ferramentas e instrumentos na atividade laboral como mediadores. Na tese

⁶⁰ Em relação àquele que fala.

⁶¹ *Bedeutungsfunktion*

⁶² Cassirer utiliza também como exemplo o procedimento de contar. A possibilidade de apreender-se o conceito de progressão infinita deriva necessariamente de uma abdicação à relevância de situações do aqui e do agora. Para uma visão completa veja o capítulo IV de Cassirer (1998, p. 417)

semiótica de Vigotski, a mediação propõe como novas ferramentas são necessárias para conduzir atividades laborais cada vez mais sofisticadas, e como sistemas de signos são constantemente utilizados para mediar os processos sociais e o pensamento. Os sistemas de signos – considerados por Vigotski como ferramentas psicológicas – podem ser vistos como instrumentos socialmente elaborados que desempenham o papel de promoção e controle das atividades de pensamento. Ao modificar o mundo por meio das ferramentas e instrumentos que produziu ao longo da história o homem também se modifica, esse sentido dialético da atividade humana se repete no plano psicológico para as funções mentais superiores (VIGOTSKI, 2007).

Segundo Wertsch (1988, p. 94), Vigotski tinha clareza das limitações contidas na analogia entre ferramentas na atividade laboral e os signos nas funções psicológicas superiores. Considerava que uma ferramenta serve como um condutor da influência humana sobre o objeto de sua atividade e que promove modificações nele. De forma diferente, considerava que um signo não modifica nada no objeto de uma operação psicológica. O signo é um meio de atividade interna, está internamente dirigido, mas influi psicologicamente na conduta de si mesmo e do outro.

Considera-se que os signos deste estudo também agem como ferramentas psicológicas. Apesar de não terem sido qualificados explicitamente como tal, entende-se que possuem equivalência funcional com alguns dos exemplos fornecidos pelo próprio Vigotski, a saber: “linguagem, vários sistemas para contar, técnicas mnemônicas, sistemas de símbolos algébricos, trabalhos de arte, escritos, esquemas, diagramas, mapas e desenhos mecânicos, todos os tipos de signos convencionais, etc.” (VIGOTSKY, 1981, p. 137).

Nos termos indicados por Vigotski, os signos são instrumentos para fins sociais, utilizados para influenciar outros e seguidamente para influir em si mesmo (VIGOTSKI, 2007). Seus estudos consideraram majoritariamente a fala como ferramenta psicológica que movimenta o pensamento para o compartilhamento e produção de significados. Obviamente não descartaremos o papel crucial da fala em nossas situações de estudo, contudo, pretendemos focalizar o processo de produção de significados por meio dos signos não verbais e destacá-los como ferramentas psicológicas em processos de mediação semiótica.

Nossa análise das formas de uso da representação estrutural considera também como eixo teórico primevo o seu papel como ferramenta de mediação semiótica nos termos propostos por Vigotski. Como nos apresenta Wertsch (1988), Vigotski defendeu que a interação social genuína se baseia na generalização.

“Para transmitir uma experiência ou conteúdo da consciência à outra pessoa, não há alternativa senão atribuir o conteúdo a uma classe conhecida, a um grupo conhecido de fenômenos, e como sabemos isto implica generalização. Assim, resulta que a interação social necessariamente pressupõe generalização, e o desenvolvimento do significado da palavra, quer dizer a generalização, se faz possível na presença do desenvolvimento da interação social. Deste modo, as formas humanas superiores únicas de interação social psicológica são possíveis somente porque o pensamento humano reflete a realidade de um modo generalizado.” (WERTSCH, 1988, p. 110).

A introdução das noções de “função indicativa” e de “função simbólica” da fala como parte da análise genética da generalização é crucial na argumentação elaborada por Vigotski, uma vez que sem ela esta generalização aparece de forma súbita e misteriosa. Para ele, os primeiros níveis de generalização e os correspondentes níveis de desenvolvimento na interação social se baseiam na função indicativa da fala, enquanto os níveis mais avançados são possíveis graças à função simbólica (WERTSCH, 1988, p. 111).

Mesmo ao reconhecer as situações deste estudo como marcadas por atos de fala que orientam e, inclusive, determinam as unidades de análise, não se pode perder de vista o interesse por atividades semióticas com características prioritariamente não verbais. Por isso, julga-se que uma estrutura analítica que inclui as formas simbólicas de Cassirer apresenta possibilidade de diálogo com a perspectiva sócio-cultural na medida em que pode colaborar para o entendimento dos processos de generalização na ordem dos signos com essa magnitude não verbal. Tem-se interesse em usar os estudos de Vigotski que tratam das maneiras pelas quais os signos mediam processos sociais e psicológicos em situações espaços-temporais definidas, queremos utilizar sua explicação sobre a mediação semiótica, levando em conta a relação entre os signos e seus modos de uso.

Segundo Wertsch (1988, p. 121), a noção de desenvolvimento conceitual proposta por Vygotsky parte da organização lingüística descontextualizada, do seu potencial para ser utilizado na reflexão abstrata. Contudo, critérios estáveis de organização do pensamento não surgem aleatoriamente em uma situação de trabalho ou de estudo, eles são obtidos a partir da seleção de critérios objetivos que operam prioritariamente no plano semiótico das tarefas a que o sujeito está submetido. No lugar de ser guiado por uma única categoria estável ao longo de uma tarefa, propõe-se que o sujeito esteja influenciado pelas propriedades dos objetos concretos que fazem parte da situação. Nesses termos, pode-se considerar que as características dos objetos adotam o papel de signo que regula a atividade do sujeito. Ao invés de ser o sujeito que utiliza os signos para estruturar o contexto, são os signos do contexto que estruturam a atividade do sujeito.

Queremos indicar aqui a pretensão de tomar os diversos recursos em jogo no processo de ensino, que são selecionados voluntariamente pelo professor para serem usados como

meios para facilitar a aquisição de conceitos, como ferramentas mediais simbólicas. Propõe-se que, tanto o que se desenha no quadro quanto os modelos materiais ou os procedimentos e gestos, sejam tomados como ferramentas a partir das noções encaminhadas por Vigotski.

O estado final de aquisição de conceitos corresponde à elaboração de um “conceito genuíno” (WERTSCH, 1988, p. 117). Conceitos genuínos, ou científicos, podem ser distinguidos dos conceitos espontâneos tanto pelo seu local de produção, quanto por suas características funcionais. Os conceitos científicos são produzidos no ambiente escolar ou a partir de uma situação de ensino formal, e os espontâneos em qualquer outro lugar. Os conceitos científicos possuem sistematicidade, e os espontâneos não. Wertsch destaca que essa sistematicidade é um passo importante no estudo de mecanismos semióticos, uma vez que nesse momento se introduz a questão de como um signo se relaciona com outro signo.

Os níveis mais avançados de formação de conceitos devem considerar tanto a relação do signo com o contexto não lingüístico, quanto a relação entre signos. Ao tratar das formas mais avançadas de generalização, encontradas em conceitos científicos, o sujeito pode usar palavras que descrevem os objetos diretamente ou relações de equivalência lógica que façam uso destas palavras. Destaca-se a capacidade dos signos para tomarem parte em relações descontextualizadas, isto é, em relações constantes que ocorrem em diferentes contextos de uso.

A explicação das funções psicológicas superiores proposta por Vigostsky considera que são os conceitos científicos que permitem aos seres humanos realizarem atividades mentais com maior independência do contexto, são responsáveis pela descontextualização das ferramentas de mediação. Quanto mais robusto o sistema semiótico derivado das formas de uso contexto-dependentes, mais provável será a eficiência desse sistema em prover sistematicidade e generalização a novas situações. Para Wertsch isso significa que os mecanismos semióticos desenvolvidos sócio-históricamente desempenham um papel mais importante à medida que o contexto diminui sua influência (WERTSCH, 1988, p. 118).

O universo de estudo de Vigotski tocava sempre o solo das palavras, sua análise do desenvolvimento de conceitos propõe que as palavras possuem a capacidade de formar relações descontextualizadas com outras palavras. Pretendemos levar este solo para situações que envolvam mediações semióticas nas quais processos de generalização e de uso privilegiam signos com características não verbais (ou lingüística), e recolocar a fertilidade do trabalho de Vigotski para outros tipos de semiose.

Temos que as formas de uso dos signos nos processos de mediação semiótica podem ser assumidas a partir de situações contextualizadas ou descontextualizadas. As formas de uso

descontextualizadas são aquelas que, como vimos anteriormente, remetem ao modo dos conceitos legítimos ou conceitos científicos. São formas de uso elaboradas a partir da prevalência de processos de generalização e que fornecem sistematicidade ao signo, que passa a funcionar do mesmo modo em diferentes contextos. Formas de uso contextualizadas podem operar em contextos extralingüísticos e intralingüísticos.

Contextos extralingüísticos podem ser formados por objetos não lingüísticos, ações ou eventos que estão espaço-temporalmente relacionados com um dado signo. Em contraposição, contextos intralingüísticos são aqueles que situam signos diferentes em um ato de fala. No caso intralingüístico, a produção de sentido depende de uma relação entre signos com função verbal. Formas de uso descontextualizadas e de contexto intralingüístico têm em comum o fato de serem estabelecidas por meio de relações entre signos, mas se diferenciam quanto ao tipo dessa relação: na forma descontextualizada as relações permanecem constantes em diferentes produções de sentido, enquanto no contexto intralingüístico são únicas para determinadas produções (WERTSCH, 1988, p. 123). Uma síntese dessas proposições pode ser observada no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Formas de uso do signo na mediação semiótica proposta por Vigotski, segundo Wertsch (1988).

<u>Tipo de Relação</u>	<u>Formas de Uso dos Signos</u>	
	Contextualizada	Descontextualizada
Objeto–Signo	Contexto extralingüístico	
Signo–Signo	Contexto intralingüístico	Conceito genuíno

Na interpretação proposta pela mediação semiótica não são as palavras que levam a maior parte do significado, mas sim o contexto que é construído no processo intralingüístico de interação. Já em processos de natureza extralingüística recorre-se à necessidade de situar argumentos em contextos específicos. Perceberemos em nossas avaliações das formas de uso do processo de representação estrutural no ensino superior de química que situações possuem uma considerável importância no modo de ação do signo gráfico. Talvez possamos considerar como um argumento *a priori* que nesse tipo de semiose a diminuição de contexto extralingüístico conceda mais autonomia para seu uso. Nesse caso prevaleceriam modos intralingüísticos de significação para tais formas de uso. Tais modos intralingüísticos poderiam ser amplamente considerados nas situações de ensino que remetem ao estudo das projeções, conforme exemplificado anteriormente, tratando-se da realização de uma cadeia simbólica.

Formas descontextualizadas de representação prevalecem quando temos signos gráficos que requerem modos interpretativos elaborados, e que demandam uma base legal ampla e consolidada a partir de sua forma de uso. Mesmo assim signos gráficos operando como ferramentas descontextualizadas não são equivalentes a partir de suas atribuições de uso. Tomemos um exemplo da química estrutural a partir do domínio da química inorgânica, como por exemplo os diagramas de Tanabe-Sugano, conforme a Figura 3.6. Tais diagramas procuram “descrever as energias dos estados eletrônicos dos complexos como uma função da força do campo ligante” (SHRIVER; ATKINS, 2003). Eles envolvem o entendimento de detalhes de um tipo de estrutura já definida, por exemplo, há diferentes diagramas de Tanabe-Sugano para a forma octaédrica, considerando configurações de d^2 a d^8 . Um dos propósitos desses diagramas na química de compostos de coordenação é prever situações possíveis de ocorrer (transições eletrônicas), mas que não podem ser observadas, nem indiretamente, por meio de outros métodos de análise⁶³.

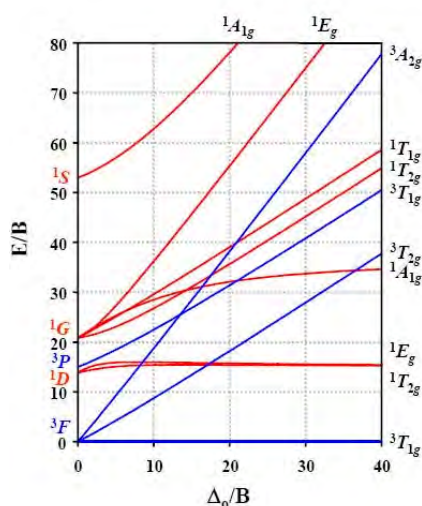


Figura 3.6. Diagrama de Tanabe-Sugano para a configuração d^2

Os diagramas de Tanabe-Sugano podem ser encarados como signos que necessitam ser interpretados de forma inequívoca, para servirem como suporte a determinação de

⁶³ A energia absoluta e a intensidade das bandas de absorção oferecem informações sobre os tipos de ligantes em torno do íon metálico e permitem inferências sobre sua geometria. A absorção da luz é acompanhada pelo rearranjo dos elétrons nos orbitais do metal e dos ligantes envolvidos. Normalmente, a transferência de carga metal-ligante, a transferência de carga ligante-metal e as absorções $\pi-\pi^*$ do ligante são transições de alta energia que são encontradas na região do UV e na região do azul do espectro visível e apresentam $\epsilon > 1000 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{cm}^{-1}$. Entretanto, absorções d-d (que correspondem a rearranjos eletrônicos nos orbitais d e normalmente são observadas no comprimento de onda da luz visível) são transições proibidas para complexos octaédricos e tipicamente fracas, apresentando $\epsilon \cong 10 - 100 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{cm}^{-1}$. Se todos os ligantes são do mesmo tipo, é característico para os complexos octaédricos ter absorvidade molar em torno de $10 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{cm}^{-1}$. Se existe mais de um tipo de ligante e estes diferem consideravelmente na força do campo, as absorvidades molares podem ser maiores. Já as absorvidades molares dos complexos tetraédricos, que não são simétricos em relação ao centro, tendem a ser maiores que as dos complexos octaédricos (BUTLER e HARROD, 1992)

características estruturais de compostos de coordenação. Como por exemplo, a avaliação sobre o desvio de simetria em relação ao padrão octaédrico de um complexo cloro-pentamin-cromo (II) quando comparado com um análogo que possui todos os seus ligantes iguais, tal como o hexamin-cromo (III), conforme apresentado na Figura 3.7. Para esse tipo de entendimento é necessário considerar questões de uma base normativa relacionada a eventos que estão associados a um domínio que se considera conter aspectos intralingüísticos e potencialmente descontextualizados (e.g. transições eletrônicas, campo ligante e termos espectroscópicos).

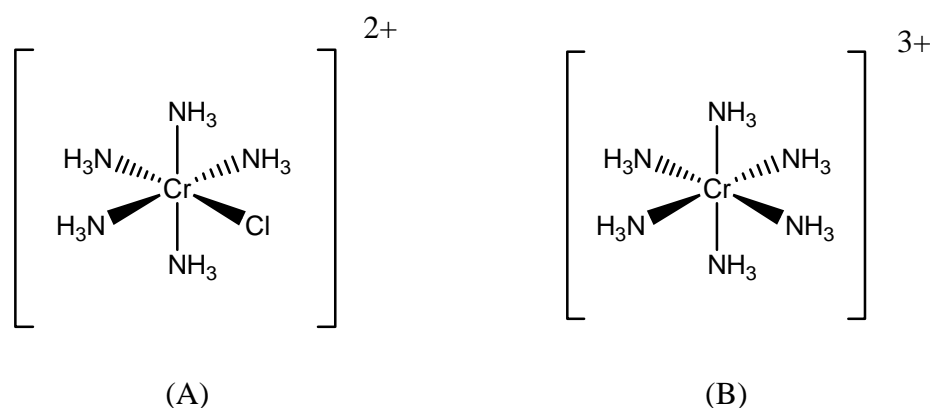


Figura 3.7. Estruturas octaédricas para os complexos (A) cloro-pentamin-cromo (II) e (B) hexamin-cromo (III). A estrutura (A) deve se distanciar mais do padrão octaédrico.

Domínios descontextualizados podem ser compreendidos a partir do uso de uma base normativa que faz uso de elementos prioritariamente conceituais, em detrimento de protocolos ou convenções. Por outro lado, as formas de uso em contexto intralingüístico poderiam estar ancoradas em um tipo de base normativa a ser classificada como meta-conceito. Por exemplo, as projeções de Newman usariam meta-conceitos que seriam derivados de conceitos genuínos, de bases normativas mais amplas consideradas aqui como conceitos verdadeiros.

Nesse caso defende-se que possa haver alguma ligação entre as proposições assertadas por Vigotski e as noções de formas simbólicas defendidas por Cassirer. Por exemplo, parece uma alternativa viável entender que formas descontextualizadas, no sentido proposto por Vigotski, possuam correlação com a função significativa de Cassirer. Considere-se para isso que ambas envolvem um estado no qual a função do pensamento está despregada do objeto, no sentido de não mais depender dele para sua atividade. Veja na figura 3.8 uma tentativa de representar essa relação entre mediação semiótica e formas simbólicas para domínios intralingüísticos e descontextualizados.

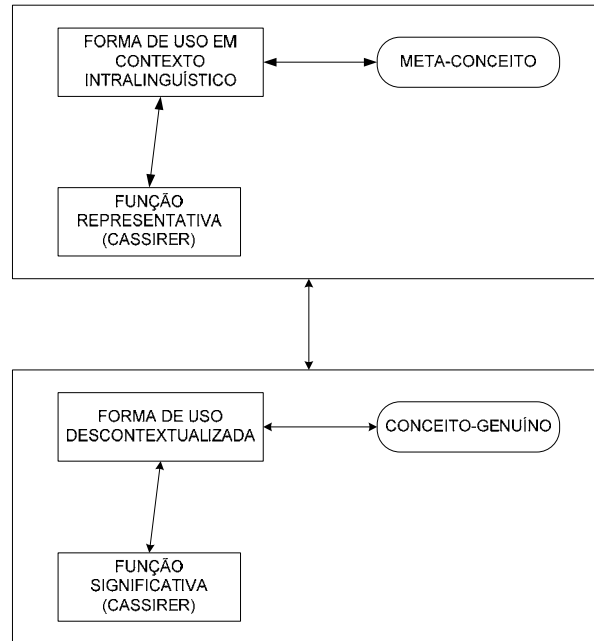


Figura 3.8 Domínios de uso para o signo gráfico da representação estrutural como ferramenta, a partir das considerações de Vigotski e suas relações com as formas simbólicas de Cassirer.

A imbricação entre os trabalhos de Cassirer e Vigotski tem origem no interesse mútuo deles pela semiologia de enfermidades relacionadas ao trato neurológico⁶⁴. Em um texto destacado da obra *Pedologia do adolescente*, encontrado em Vigotsky (1998), o autor refere-se a um relato de Cassirer acerca de um paciente do Instituto Neurológico de Frankfurt que considera ter distúrbios nas “funções intelectuais superiores” (VIGOTSKY, 1998, p. 151). Antes de ser acometido pela enfermidade o paciente podia repetir qualquer frase que ouvisse sem maiores dificuldades. Contudo, após a evolução do quadro patológico só conseguiria pronunciar frases que estivessem em acordo com a realidade. No exemplo citado, o paciente não conseguia pronunciar “o tempo hoje está ruim e chuvoso” (ibidem) uma vez que fizesse sol e não chovesse durante o ato de fala. O paciente não é capaz de contradizer a realidade à sua volta. Vigotski destaca que os pacientes que sofrem de distúrbios de outras funções mentais superiores manifestam grande dependência da “percepção concreta” (ibidem).

Também são dados outros relatos, com origem nos trabalhos de Cassirer, acerca desse tipo de manifestação. Conforme Vigotski, estes são casos que assinalam a dependência do comportamento, percepção e ações concretas para o pensamento, o que ele considera como uma “antítese da fantasia e da criatividade” (VIGOTSKY, 1998, p. 152). A pessoa não consegue fazer nada que desafie o mundo a sua volta, ela não consegue “criar uma situação” ou se libertar do estímulo direto do mundo exterior. Para Vigotski e Cassirer os casos

⁶⁴ O que Cassirer designou na *Filosofia das Formas Simbólicas* de “patologias da consciência simbólica” (CASSIRER, 1998, p. 241).

patológicos eram interessantes pois forneciam caminhos semelhantes àqueles conseguidos por meio das pesquisas com relação ao desenvolvimento ou comportamento normal.

Cassirer concentrou sua atenção nos relatos de alterações do mundo da percepção por meio da afasia. Ele considerava isso como um procedimento metodológico profícuo para o conhecimento mais profundo da função simbólica⁶⁵. Tal qual Vygotsky, Cassirer reconhecia nos transtornos afásicos um meio de identificar os limites de interação entre pensamento e linguagem. De alguma maneira, a formação de conceitos estaria relacionada à possibilidade de perseguir atos de imaginação e criatividade, livrando-se das restrições impostas pelas informações da experiência sensível. O desenvolvimento da linguagem e sua transição para a forma de pensar conceitos são marcados pela derrocada de características eidéticas⁶⁶ (VIGOTSKY, 1998, p. 155). Essas formas eidéticas são dominantes tanto na filogenia quanto na ontogenia em estágios primitivos da cultura humana. Com a evolução, gradualmente, toma lugar o pensamento abstrato, características universais tomam o lugar de modos específicos.

Essa marca de confluência entre Cassirer e Vigotski confere ao nosso recorte teórico-filosófico aspectos de inovação e trazem expectativas quanto às influências que essa opção poder exercer sobre o domínio empírico. Mesmo assim a marca que se destaca nesse encontro é a de reafirmação do caráter prioritário da mediação como *modus operandi* do processo de representação. Isso nos ajuda a entender as limitações encontradas em outras tentativas de lidar com a representação no ensino de química, as quais insistem em não considerar esse aspecto crucial do tema. Nossa decisão de ir ao encontro de uma leitura ampla sobre o que a filosofia já produziu com relação à representação revelou-se até o momento um investimento promissor. Contudo, sabe-se que há uma produção específica sobre a questão da representação que pronuncia questões filosóficas sobre o tema a partir de exemplos da história de nossa disciplina. Não podemos encerrar essa visita teórico-filosófica sem considerar tais questões e saber como elas podem servir de interlocução ao que pretendemos defender nesta pesquisa.

⁶⁵ Na Filosofia das Formas Simbólicas, Cassirer relata casos de pacientes com problemas de reconhecimento de cores, e casos de agnosia ótica e tátil (CASSIRER, 1998, p. 273). Para os casos de agnosia ótica é importante ressaltar que Cassirer procura vincula-las a alterações do que considera “sentido espacial”, problemas na percepção espacial (CASSIRER, 1998, p. 285).

⁶⁶ Do grego *eidos* que significa forma. Este termo foi utilizado por Platão para tratar das coisas por meio de sua contemplação pura. Na fenomenologia de Husserl, indicava a essência das coisas e não a sua presença. A chamada *redução eidética*, para Husserl, consistia na substituição da experiência pela consideração dessa essência.

3.5. Aspectos filosóficos da representação na química

As formas de uso relacionadas à representação estrutural na química possuem uma carga epistemológica por vezes não reconhecida, ou dita como desnecessária à prática e à formação inicial daqueles que pretendem habitar a cidade científica. Isso talvez se deva a um processo de conversão que é tido como necessário na iniciação dos aprendizes do tema da representação estrutural. Prioritariamente, destaca-se o caráter utilitário das formas de representação para a prática da química. Tais questões epistemológicas são delicadas, pouco exploradas, mas sempre estiveram pautando a história desta disciplina. Nesta seção procuraremos destacar algumas questões epistemológicas da representação estrutural a partir de autores que formulam pesquisas sobre o tema. Tais questões servem ao nosso investimento teórico-filosófico prioritariamente como interlocução e provêm as tendências encontradas na literatura que cada vez mais se amplia em torno desse tema.

Uma dessas perspectivas considera aspectos da representação na química e avalia funções epistemológicas de uso do que se chama “ferramentas papel” (KLEIN, 2001a; 2001b) ao longo da história da prática da química. Ursula Klein desenvolve a noção de ferramentas papel e considera como hipótese que os praticantes de ciência em uma dada comunidade utilizam representações ou sistemas de sinais em geral para os mesmos propósitos epistemológicos, e de uma maneira muito similar aos instrumentos de laboratório: para produzir novas representações de objetos ou processos invisíveis. As ferramentas papel são dispositivos materiais que, de forma contrária aos instrumentos de laboratório, não interagem fisicamente com o objeto de investigação, mas analogamente ao repertório instrumental, necessitam ser apropriados ao objeto em investigação.

Tais ferramentas consistem amalgamas para um trabalho estável no interior de uma comunidade científica, além de proporcionar liberdade criativa e flexibilidade em termos de acomodar novas proposições. São artefatos transportáveis que podem ser comunicados entre todos os usuários, pois são constituídos de elementos familiares que permitem conjuntos de manipulações diversas com a produção de efeitos específicos (KLEIN, 2001b, p. 29).

O trabalho de Klein caracteriza certos domínios epistemológicos associados a formas gráficas de representação, mas focaliza aspectos das fórmulas racionais que tratam de colocar em evidência as relações qualitativas e quantitativas entre elementos que participam de uma substância. Nosso circuito de debates está melhor posicionado a partir das primeiras tentativas de entender-se a organização estrutural do corpus químico. Parti-se do pressuposto que as fórmulas racionais, apesar de largamente significativas, constituíam-se em limitações para as

funções explicativas que se tornavam cada vez mais importantes à medida que crescia a produção e a identificação de novos compostos.

As ferramentas gráficas referem-se a um domínio ficcional a priori, um ambiente de construção de novas ontologias. Essas novas formas possuem existência somente no papel. A produção dessas novas coisas para o mundo, contudo, não é livre e atende às regras da teoria estrutural. Mesmo tendo de obedecer a um conjunto de regras, é indisputável que permanece um processo de “criação de seus próprios objetos” (RAMBERG, 2001, p. 86) como nas palavras de Marcelin Berthelot. Destaca-se a seguir um marco histórico na consolidação da teoria estrutural como provedora de soluções e novos problemas para a pesquisa no domínio da química. Esse exemplo é amplamente discutido na literatura, mas ainda hoje vem recebendo novas interpretações e oportunizando variadas leituras com relação às questões filosóficas para a química. Trata-se dos trabalhos de Jacobus van't Hoff (1852-1911) em torno da tetraedricidade do átomo de carbono.

Em seu manuscrito de 1874, van't Hoff rejeita que as quatro afinidades de um átomo de carbono estejam em direções perpendiculares e coplanares. O motivo assinalado no mesmo artigo para esta rejeição é a impossibilidade de assumir-se o número de isômeros derivados dessa pretensão estrutural, que seriam “evidentemente muito maiores do que aqueles conhecidos até hoje” (RAMBERG; SOMSEM, 2001). Van't Hoff usa representações gráficas baseadas na notação de Alexander Crum Brown⁶⁷ (1838-1922), conforme se apresenta na Figura 3.9, para colocar em debate suas proposições e refutar a existência dos isômeros.

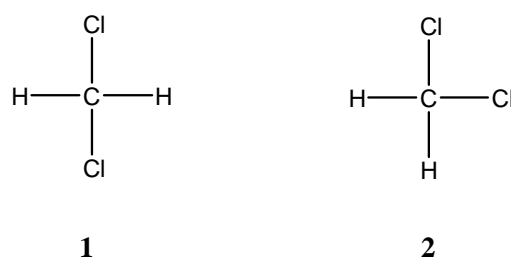


Figura 3.9. Estruturas para os dois isômeros hipotéticos do dicloro-metano, quando átomos de cloro (Cl) são substituídos em torno de um átomo de carbono (C) com valências perpendiculares e coplanares.

Recolocando o problema de van't Hoff a partir das duas estruturas na Figura 3.9 tem-se a seguinte questão: tais representações correspondem a entes químicos diferentes? Com uma resposta afirmativa pode-se tomar como critério para sustentá-la a posição diferente dos “Cl” (representando átomos de cloro) em relação aos “H” (representando átomos de hidrogênio) nos dois desenhos. Nesse caso consideram-se as quatro posições absolutas em

⁶⁷ Em 1864 Crum Brown publicou um artigo sobre *Teoria dos Compostos Isoméricos*, no qual usava fórmulas gráficas com traços entre os símbolos dos elementos representando suas ligações e valências.

torno do átomo de carbono como critério para decidir sobre a natureza ontológica daquilo que a ferramenta gráfica se propõe representar. Toma-se um vínculo entre a representação e a coisa que se quer representar. Alcançamos a coisa por meio de sua representação. Algumas propriedades da coisa devem estar postas na representação para que esse procedimento não seja um devaneio descabido.

Qual a diferença entre essa tomada de posição precipitada e aquela que conduziu van't Hoff? Ele possuía alguns dados empíricos acerca da inexistência de tais isômeros. Nesse caso, a menos que se deseje aderir a uma posição verificacionista, isso não pode ser considerado critério para a rejeição de nossa hipótese. Talvez, uma maneira menos ingênua de justificar a decisão de van't Hoff seja encarar a forma tetraédrica como uma hipótese explicativa mais arrojada.

Vejam também que o tetraedro não resolve o problema em termos da adequação com os dados empíricos, pois se aumentamos a dimensionalidade de nossa representação aumentamos o conjunto de diferenciações possíveis para sistemas que possuem dois ou mais átomos de carbono. Para responder a essa dificuldade, van't Hoff propôs que houvesse rotação no eixo entre os átomos de carbono.

A forma como van't Hoff comunicava suas questões de pesquisa dava boa pista da influência que o processo de representação possuía. Ramberg (2001) destaca o valor que os artefatos materiais utilizados por van't Hoff possuíam nessas conjecturas. Todavia, o desenho possui uma característica bi-funcional desde os tempos de van't Hoff e que permanece até os dias de hoje: tem de atuar como um processo de comunicação, a partir de um conjunto de convenções, acordos e privilégios de uso, que permitam aos membros de uma comunidade tratar de suas questões de interesse; e pretende também ser um guia para o raciocínio enunciado pelo autor no problema em questão. Na comunicação de van't Hoff (1909) que trata da rotação do eixo entre átomos de carbono temos algumas indicações nesse sentido. Nas representações usadas neste trabalho, van't Hoff usa formas geométricas espaciais como elementos auxiliares, mas cruciais no processo explicativo, conforme apresentado na Figura 3.10.

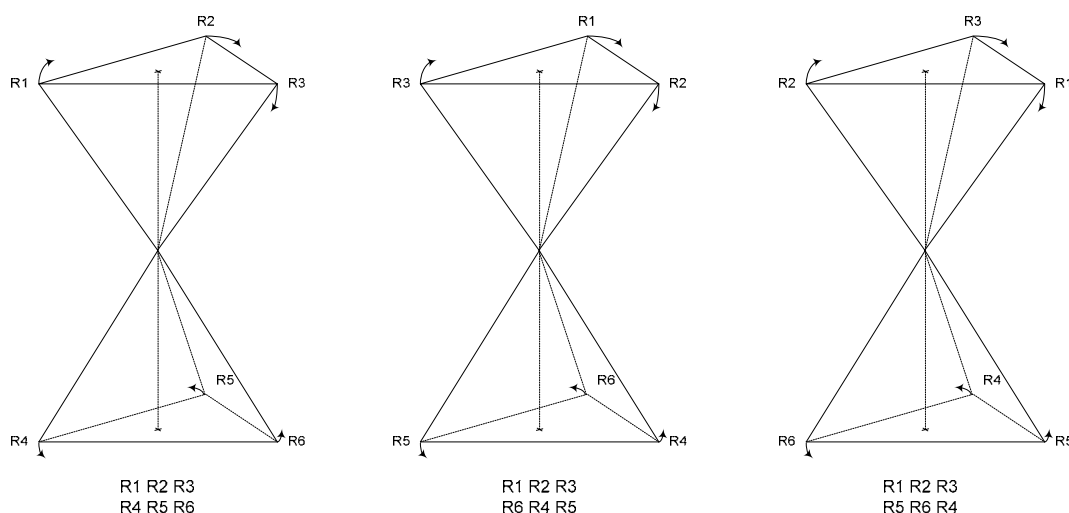


Figura 3.10. Representações de van't Hoff para a rotação do eixo entre átomos de carbono.

As propostas representacionais de van't Hoff para a rotação de um eixo entre átomos de carbono não pretende considerar a existência de uma ligação entre eles. A proposição se concentra no privilégio do caráter geométrico solapar as valências coplanares. O que há aqui é uma disputa entre diferentes estruturas a partir de representações, que tornam possíveis sustentar hipóteses auxiliares e que protegem o argumento central de van't Hoff. No privilégio de uma representação geométrica tridimensional o caráter material das ligações se dissipa, bem como desaparece a necessidade de átomos como pontos materiais. Há na estrutura uma rede de distribuição de valências (ou de afinidades) que se tornam responsáveis pela relação entre as unidades tetraédricas. Encontramos uma correlação disso nas palavras de outro pesquisador da época Johannes Wislicenus⁶⁸ (1835-1902).

“...nossas visões sobre a estrutura de moléculas tornam impossível supor que átomos sejam ‘pontos materiais’. Seria melhor considerá-las como estruturas espaciais e supor as unidades de atividade química em átomos polivalentes localizadas em vários pontos nestas estruturas. ... Eu penso não ser impossível que o átomo de carbono tenha uma estrutura... considerando um tetraedro regular... com unidades de afinidade concentradas nos ângulos do tetraedro...” (FARRAR, 1968, p. 66)

Contudo, pode-se perguntar: porque as duas formas apresentadas na Figura 3.9 são coisas diferentes e as três formas da Figura 3.10 podem ser defendidas como coisas não-diferentes? Os iniciados em estereoquímica aceitarão a assertiva de que as representações na Figura 3.10 descerram confôrmeros, mesmo assim não podemos colocar essa distinção na conta de van't Hoff, pois a conquista desse tipo de distinção não remonta àquela época.

⁶⁸ Segundo Ramberg e Somsen, van't Hoff considerava o trabalho de Wislicenus uma “influência primária” (RAMBERG; SOMSEM, 2001, p. 66).

Recoloca-se nesse momento a pertinência das implicações entre representação e certos compromissos ontológicos, algo que vimos enfatizando desde o início deste capítulo.

Conforme proposto por Ramberg (2001), as formas de representação em papel constituem compostos ficcionais, os quais podem funcionar como ferramentas de predição ou podem ser explicados por hipóteses auxiliares. Contudo, não se encontra uma resposta definitiva para a tomada de opção entre estas duas alternativas. Para Ramberg, os químicos perseguem a síntese de um composto por pura convicção teórica. Outro fator a ser considerado seria a “cultura” (RAMBERG, 2001, p. 70) administrada nesses grupos de pesquisa, mormente autocráticos, o que manteria seus grupos na tarefa de defesa de seus argumentos, ainda que fosse inglória. Outro fator que deve ser levado em conta é a possibilidade de bons resultados por meio de artefatos materiais. Spek (2006) considera que van't Hoff foi um dos iniciadores do uso de artefatos materiais com propósitos de ensino. Esse tipo de uso teria sido inaugurado por ele a partir das possibilidades que van't Hoff encontrou ao obter sucesso explicativo com esses artefatos nas situações de debate e de disputa que requeriam a defesa de seu carbono tetraédrico (SPEK, 2006, p. 162). Por outro lado, Ramberg considera o uso desse tipo de ferramenta como próximo a uma “experiência mental” (ibidem), o que permitiria clarear a plausibilidade de compostos que residem somente no mundo do papel.

Outro argumento de Ramberg refere-se à maneira como as representações em papel proporcionam analogias. Haveria duas formas de analogias: por esquemas classificatórios; ou por similaridade nas estruturas. Como esquemas classificatórios as representações em papel revelam as lacunas que existem e que podem ser preenchidas para completar séries análogas. A partir da analogia como forma similar, se um composto desconhecido Y é estruturalmente similar a um conhecido X deve ser possível produzir Y pelo mesmo caminho que leva à produção de X. As fórmulas químicas são representações de coisas “potenciais” (RAMBERG, 2001, p. 72) e esboçam a construção de coisas reais às quais correspondem. Todavia, as condições de realização dessas coisas reais nos laboratórios seguem caminhos não necessariamente organizados, e além de planejamento em papel, diversos ajustes de instrumentação e de técnica são muito presentes na prática dos químicos.

A realização empírica talvez seja a maior tradição na atividade dos químicos, seja pela via úmida ou seca, constitui o cerne daquilo que se toma por trabalho em química. Mesmo assim, o esforço que a empiria faz para restringir e orientar o trabalho dos químicos nem sempre é seguido ou tomado como indicador de uma necessária mudança de rumo para as

pesquisas. Um novo conjunto de exemplos históricos ditados por Ramberg (2003) nos indica essa tensão e incluem-se aí relações com formas de representação estrutural.

Tomaremos neste momento o caso da estrutura do ácido láctico conduzida por Wislicenus. Seguiremos o recorte histórico proposto por Ramberg, focalizando aspectos de nosso interesse para discussão. Em relação às disputas teóricas de seu tempo, Wislicenus posicionava-se entre a teoria dos radicais e a teoria dos tipos, ele desejava uma “ontologia mais sólida” (RAMBERG, 2003, p. 43) na qual as fórmulas expressassem “a unidade química... a individualidade de uma molécula” (ibidem). Tendo como base a teoria dos tipos, Wislicenus propôs uma fórmula para o ácido láctico que sugeria uma analogia entre a estrutura deste com a do ácido propiônico.

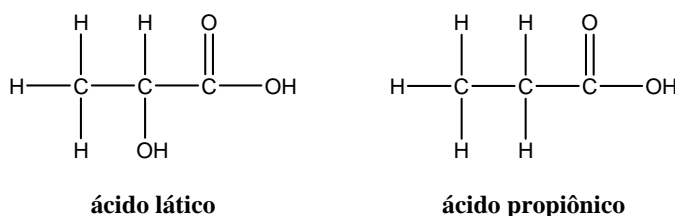


Figura 3.11. Representações estruturais, usando as fórmulas de Crum Brown, para o ácido láctico e o ácido propiônico

Os resultados experimentais obtidos por Wislicenus para a síntese do ácido láctico fizeram-no concluir que ele não havia conseguido ácido láctico mas um isômero dele. Uma indicação para tal afirmação estava na forma dos cristais do sal obtido (lactato de potássio) e na quantidade de água de cristalização. Wislicenus deu um novo nome a este isômero e sugeriu que a diferença entre eles estaria no núcleo $\text{C}_2\text{H}_4/\text{H}$, conforme a representação proposta pela Figura 3.12.

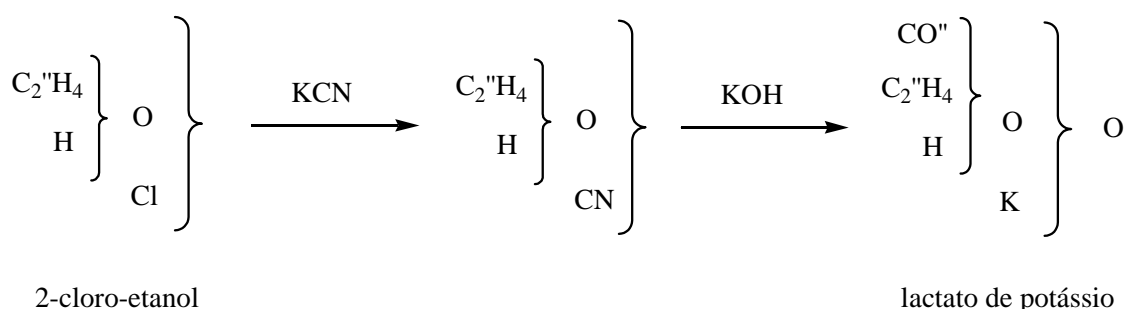


Figura 3.12. Representação da síntese do ácido láctico, conduzida em 1859 por Wislicenus, a partir do 2-cloro-etanol (RAMBERG, 2003, p. 44).

Wislicenus indicou que a impossibilidade de apresentar-se uma distinção para seus isômeros do ácido láctico residia na debilidade da notação química existente para expressar todas as propriedades com relação a estes compostos. Não haveria como representar-se a

“verdadeira natureza” (RAMBERG, 2003, p. 44) da substância, pois todas as tentativas incorreriam em resultados distorcidos, parciais ou incompletos. Em suma, não havia como distinguir as duas substâncias obtidas em laboratório por meio de representações gráficas de maneira subjacente à teoria dos radicais ou dos tipos. A teoria impunha restrições para que a representação alcançasse a empiria.

Utilizando-se a notação proposta por Crum Brown poder-se-ia diferenciar os isômeros problemáticos de Wislicenus, conforme mostrado na Figura 3.13, mas o retorno às atividades empíricas indica a existência de outros dois isômeros para o ácido láctico, totalizando quatro entes químicos diferentes. Novamente observando a Figura 3.13, percebe-se que para esse novo tipo de restrição empírica é a notação de Crum Brown que se torna insuficiente.

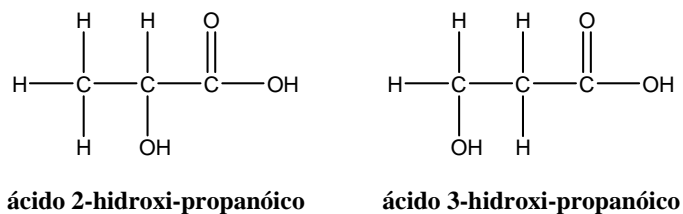


Figura 3.13. Representação dos isômeros do ácido láctico envolvidos na síntese de Wislicenus, em 1859, segundo a notação de Crum Brown.

Wislicenus distinguiu dois grupos de relações causais para o problema dos isômeros do ácido láctico. Primeiro, as propriedades químicas de uma substância eram implicadas por sua estrutura, pela seqüência de associação dos átomos. Segundo, as propriedades físicas, tais como a rotação ótica, estariam associadas à magnitude e forma das moléculas, independente da seqüência de associação existente. Apesar de estar seguro que as diferenças entre os isômeros poderiam ser explicadas por uma causa geométrica, Wislicenus não conseguiu fornecer nenhuma resposta para o problema (RAMBERG, 2003, p. 48). A tensão entre arranjos físicos e químicos para as estruturas em jogo nos programas de pesquisa da química orgânica é uma característica marcante desse período. Para Ramberg, esta tensão é dissolvida com a noção de carbono tetraédrico de van't Hoff em 1875.

Este breve relato do problema do ácido láctico na pesquisa de Wislicenus tem por objetivo trazer algumas questões de interesse para nossa pesquisa. No Quadro 3.2 verifica-se uma sinopse para o conjunto dos eventos que marcaram a questão da representação dos isômeros do ácido láctico, sendo este subdividido em três situações.

Quadro 3.2 – Quadro sinótico para o problema da representação dos isômeros do ácido lático.

Situação	Dados empíricos	Referencial teórico	Sucesso na representação
1	2 isômeros	Radicais / Tipos	Não
2	2 isômeros	Estrutural / Valência	Sim
3	4 isômeros	Nenhum	Não

Na situação 1, que se refere à primeira abordagem de Wislicenus com relação ao problema, a utilização da teoria dos radicais e/ou dos tipos se mostrou inadequada para a obtenção de representações dos primeiros isômeros colocados em cena a partir dos dados empíricos. Na situação 2, tem-se que tais representações puderam ser acomodadas em termos da teoria estrutural e/ou valência, na forma apresentada por Crum Brown. Deve-se notar que os referenciais teóricos das situações 1 e 2 coexistem, ainda que em disputa, durante o período assinalado. Em seguida tem-se que uma nova restrição empírica configura uma terceira situação, informada a partir da existência de 4 isômeros para o ácido lático, e nesse caso o referencial teórico vigente não mais permite representar essas formas. Ao final desses três momentos assinalados, conforme proposto na literatura (RAMBERG, 2003, p. 52), Wislicenus tem clareza de que a questão pode ser resolvida a partir de um salto de dimensionalidade, mas não consegue dar esse salto.

Ainda que se tenha colocado somente de forma abreviada algumas questões filosóficas e históricas que perpassam a noção de representação na química, podemos salientar a importância da atividade de representação em um processo de ampliação do conhecimento químico. Estava dado em boa medida para Wislicenus que a restrição crucial para o problema residia na dimensionalidade da representação. Então por que não foram tentadas representações gráficas em três dimensões? A resposta carece de uma investigação mais detalhada e não é objeto desta pesquisa. Contudo, Ramberg sustenta que para os envolvidos nessa disputa, como por exemplo Friedrich Kekulé (1829-1896), Alexander Butlerov (1828-1886), Alexander Crum Brown (1838-1922) e Johannes Wislicenus (1835-1902), as fórmulas gráficas da época não pretendiam representar moléculas em nenhuma dimensão, as estruturas químicas não queriam significar retratos desse “micromundo” (RAMBERG, 2003, p. 50). Ainda na visão de Ramberg, as fórmulas estruturais usadas nos dias de hoje possuem uma atribuição semiótica diferenciada e devem ser consideradas como ícones no sentido proposto por Charles Sanders Peirce. Nesse cenário de disputas acerca de ontologias, teorias e representações, Van't Hoff seria o responsável por promover a transformação de uma

realidade química para uma realidade física, aquele que transformou as fórmulas estruturais de símbolos em ícones (RAMBERG, 2003, p. 54).

A tentativa de interpretação que se propõe dar a esta questão em nosso trabalho é diferente da proposta de Ramberg. Ela também recebe influência das discussões que vem sendo instaladas ao longo dos últimos dez anos no circuito de debates da Filosofia da Química (MCINTYRE, 2007a). Consideramos que para os exemplos históricos apresentados, bem como para outros encontrados na literatura (GAVROGLU, 1997; LOMBARDI; LABARCA, 2005; MCINTYRE, 2007b; POIDEVIN, 2000; RAMSEY, 1997; WEININGER, 2000), permanece a tensão acerca da redução dos objetos da química à física.

A busca por uma identidade para o objeto químico está colocada, mesmo que nas poucas linhas destacadas anteriormente para o trabalho de Wislicenus e van't Hoff. Nesse momento histórico a organização que o ente químico deve possuir começa a dar sinais de importância para o programa de pesquisa da química orgânica. Nesse ínterim instala-se de forma mais contundente o problema da representação. Não representar esse ente apropriadamente pode restringir o poder explicativo e o caráter de credibilidade do sistema teórico que sendo usado.

Uma das questões que estão endereçadas na literatura reflete sobre como se podem dar garantias à comunidade sobre um arranjo específico desses objetos com os quais a química lida (BRAKEL, 2000). Tenta-se, a partir das mais variadas maneiras, técnicas e ferramentas, encontrar uma forma de representação que consiga dar conta desse ente de um jeito mais completo possível. Uma das discussões encontradas na literatura (POIDEVIN, 2000) reforça o caráter instrumentalista para a interpretação das estruturas dos objetos químicos. Por exemplo, uma vez que a teoria quântica não pode ser adequada à noção de forma da molécula, não haveria essa tal forma. Nesse caso, a estereoquímica, que se baseia intrinsecamente na noção de forma do objeto químico seria uma “ficção” (POIDEVIN, 2000, p. 139), e suas descrições não poderiam ser encaradas como atribuições dos estados do mundo. Mas as descrições obtidas a partir desse estatuto supostamente ficcional permanecem sendo efetivas e conduzindo a progressos em relação a nossa disciplina. A respeito do objeto químico em si e da tentativa de alcançá-lo por meio de representações, permanece a idéia de que se deve avançar para além da sua composição e do conjunto de suas propriedades físicas.

Mantém-se a disputa em torno da função epistemológica que poderia justificar essa multi-representatividade na prática dos químicos. Ramsey (2000) apresenta uma alternativa à polarização realista-relativista que conduziu Poidevin (2000) à sua proposta estruturalista: uma função que denomina realismo contextual. Com ela Ramsey pretende conservar as

funções realistas levando em consideração as técnicas experimentais envolvidas na determinação dos entes químicos. Na perspectiva do realismo contextual, uma única análise da forma molecular não seria o caminho próprio a ser seguido, mas haveria a necessidade de se realizar várias. Nesse caso as formas de representação permanecem como aproximações ou tentativas incompletas. Para Ramsey essa aproximação contextual não repousa meramente no plano epistemológico, mas também opera no plano ontológico uma vez que leva em conta diferentes formas de intervenção na realidade e permitem conhecer diferentes propriedades causais dos objetos em estudo (RAMSEY, 2000, p. 125). Cada intervenção empírica carrega a marca particular da técnica aplicada, e para cada técnica a ser utilizada há uma assinatura própria. Todavia, é importante destacar que Ramsey mantém a necessidade de se estabelecer um vínculo entre a coisa e a técnica que permite conhecê-la, o que é em boa medida também uma postura instrumentalista.

A posição que pretendemos destacar nessa revisão concorda com os debates que apresentam como alternativa ao instrumentalismo a possibilidade de se admitir a necessidade de múltiplas formas de representação. Isso deveria se apresentar como uma característica formadora do objeto químico e dado por nossa posição ontológica em relação a ele. Uma única forma de representação, mesmo que abarque a totalidade das propriedades que se tem conhecimento como descritores do ente químico a ser representado, não poderá dar conta desse ente completamente, pois permanecem sendo necessárias múltiplas formas de representação. Nas palavras de Weininger (2000), “é melhor abandonar a idéia de que um modo de representação é suficiente para dar conta da totalidade da experiência química” (WEININGER, 2000, p. 157). O compromisso com o ente químico é distribuído entre as diferentes formas que pretendem representá-lo, os diferentes aportes teórico-epistemológicos negociados para trazer a coisa diante de si implicam distintos compromissos ontológicos.

Essa multiplicidade de formas representativas é apresentada ao praticante da química desde a sua formação inicial. Nossa pesquisa quer ir ao encontro dessa prática e reconhecer essas formas de uso, assumindo esse modo multi-representativo intrínseco à questão estrutural na química. Por meio das discussões que propomos anteriormente, pretendemos salientar o caráter central que uma função epistemológica tem para o processo de representação. Destacamos também que não há consenso em relação a tal função para os procedimentos que tratam da representação estrutural. Intensas revisões históricas têm sido elaboradas para situar o problema, mesmo até colocando-o à luz de novas restrições empíricas e teóricas.

Antes de encerrar esse capítulo, pelo que pudemos apresentar sobre a premência da questão ontológica, fornecemos na seção seguinte uma leitura para encontrar novas formas de

encarar a existência desse ente químico, complexo, dinâmico, mas contundentemente específico. Destacamos que novamente o caráter inovador dessas asserções, uma vez que expandiremos as possibilidades de existência do ente químico por sobre a vanguarda da metafísica.

3.6. Proposições para a ontologia do ente químico e as implicações para sua representação

A ontologia é a análise filosófica daquilo que dizemos que existe. É uma reflexão sobre o ser e de tal maneira ela nos oferece uma avaliação desse caráter para as entidades com as quais nos comprometemos com sua existência. Esse comprometimento se reflete na maneira como raciocinamos e falamos sobre elas, mas também na maneira como as representamos. A existência dá origem a muitas questões particularmente filosóficas que estão no coração da metafísica. Uma delas é a simples decisão do que existe e do que não existe. Pode nos parecer uma questão ingênua, contudo ela permanece presente no debate sobre entes químicos e suas representações. Não são poucas as vezes que professores e alunos repousam extensas discussões sobre representações estruturais como critérios de decisão sobre a existência, ou a possível existência de coisas.

A primeira forma de decidir-se sobre a existência de algo é pela caracterização das propriedades desse algo. As propriedades que caracterizam inequivocamente uma existência são chamadas de universais. Essa abordagem parece muito boa se forem consideradas por exemplo as definições da IUPAC, que acomodam constantemente procedimentos técnicos como critérios de justificativa ontológica na química. Essa forma de caracterização de existência por aferição de suas propriedades é dita realista, e considerada como *realismo de propriedades*. Suas primeiras versões têm raízes no debate entre Platão e Aristóteles. Para Platão os universais são transcendentais, existem fora do tempo e do espaço, no chamado *mundo das idéias*. São objetos abstratos e imutáveis (IMAGUIRE, 2005). Por sua vez, segundo a concepção aristotélica, os universais são imanentes, eles não existem fora do tempo e do espaço, eles existem no tempo e no espaço da coisa que os contém. Uma derivação da concepção transcendente é que propriedades podem existir independentes de estarem contidas nas coisas. Por exemplo, eu posso admitir que a instância ‘carbono’ possa conter o universal

‘forma quadrático planar’ mesmo sem conseguir verificá-lo⁶⁹. Por outro lado, podemos derivar pela via aristotélica que uma propriedade seja devida a uma instância e parecerá não fazer sentido que um universal possa existir sem que tenha quaisquer instâncias. Nesse caso posso admitir que não vale a pena defender a existência de uma ligação quádrupla entre dois átomos quaisquer, pois não há instância, dois átomos quaisquer, que instancie essa existência.

Apesar de sua longa trajetória, o realismo de propriedades oferece alguns problemas, tais como não haver explicação para a conexão entre o ente e suas propriedades. Segundo Garret (2008), ainda que Bertrand Russel (1872-1970) tenha procurado uma alternativa à questão dos universais, a solução oferecida traz dificuldades para a produção no mundo de objetos que contenham o atributo da igualdade. Para Russel não pode haver um mundo com duas entidades similares⁷⁰, o que implica restrições para a adequação do realismo às intenções de existência no caso dos entes químicos.

Nosso interesse pela questão ontológica remete à possibilidade de debater e refutar as pesquisas que defendem a restrição de localização e instalação de caráter icônico na representação estrutural, para que esse conhecimento, nos termos de uma base epistemológica conduza a um ente real⁷¹. Gostaríamos de formular aqui uma alternativa a esse caráter icônico, avaliando uma aproximação ontológica diferente para esse ente, e defendendo que sua relação com a instância mediadora representacional pode se valer de um caráter prioritariamente simbólico⁷².

Como foi comentado na seção anterior, Peter Ramberg (2003, p. 324) sugere que as fórmulas químicas usadas por Van’t Hoff configuraram o maior salto para o desenvolvimento da linguagem visual da química. E o ponto crucial desse desenvolvimento é uma virada representativa de simbólica à icônica. Esse salto no desenvolvimento inicia um processo de atribuição ontológica àquilo que estava sendo representado. No início da química orgânica as mesmas representações estruturais eram usadas como dispositivos para representar reações químicas, mas ao final do século XIX tais representações tornaram-se representações da molécula como um objeto.

Por outro lado, na química inorgânica, não teria ocorrido este salto, uma vez que Alfred Werner (1866-1919), influenciado pelo sucesso explicativo das propostas de Van’t Hoff, criara “conscientemente” (RAMBERG, 2003, p. 325) fórmulas com caráter icônico

⁶⁹ Uma inferência para instanciar carbonos quadráticos planares é indicada por (ESTEVEZ, FERREIRA e CORRÊA, 2005).

⁷⁰ Para um aprofundamento das questões em Russel veja (IMAGUIRE, 2005).

⁷¹ Como apresentamos na seção anterior a partir de Ramberg (2003).

⁷² Sendo ‘simbólico’ e ‘icônico’ aqui apropriado em termos de definição de Peirce.

desde o início de sua pesquisa com as metalaminas⁷³. A defesa de Ramberg sugere que um aumento de caráter icônico no representante fortalece uma relação ontológica desse representante com seu ente de correspondência. Para Ramberg (ibidem) as fórmulas estruturais que procuravam informar o arranjo espacial tornaram-se realistas quando passaram a retratar⁷⁴ as propriedades externas de um objeto do mundo microscópico. Podemos concluir que a tese de Ramberg assume que as ferramentas visuais sofrem acréscimo de caráter ontológico quando se movimentam de um caráter “puramente” (RAMBERG, 2003, p. 326) heurístico ou de suporte pedagógico para representações de coisas reais.

Mesmo assim, Ramberg assume que sempre houve uma tensão entre fórmulas estruturais e a realidade física, o que movimentou os cientistas na direção de assumir uma postura pragmática, mormente para obterem resultados eficientes com o uso dessas representações. Tal uso envolvia uma mistura conveniente de conceitos e de ferramentas para a necessária conquista de resultados (RAMBERG, 2003, p. 327). Todavia, essa defesa pragmática de Ramberg não pretende se render ao instrumentalismo, ele assume que os químicos consideram fórmulas estruturais como instrumentos que não retratam a realidade de maneira independente da experiência humana (RAMBERG, 2003, p. 328).

Procurando oferecer uma alternativa à leitura da ontologia que envolve entes químicos e suas representações, tem-se que o filósofo Eddy Zemach classifica o chamado discurso ontológico em quatro frentes distintas, que não necessitam ser vinculadas ao mote ontológico original de distinção entre real e não real (ZEMACH, 1970), a saber: ontologia de eventos, ontologia de coisas, ontologia de processos, ontologia de tipos. Todas elas possuem em comum o fato de serem espaço-temporais, todas as entidades que tais ontologias acomodam devem ser estendidas no espaço e no tempo. Em contraste, segundo Sharlow (2006) há teses nominalistas bastante rígidas que se opõem ao realismo. De acordo com o nominalismo o discurso sobre entes abstratos deve ser lido sem a dependência da existência desses entes. De volta a um exemplo na química temos que um enunciado que avalia a tetraedricidade do carbono, em termos nominalistas, não requer admitir que existam na mesma instância o carbono e a tetraedricidade. Como afirma Sharlow, há variações tanto da posição realista quanto da posição nominalista e as classificações de Zemach oferecem um exemplo disso (SHARLOW, 2006, p. 229).

⁷³ Em 1892 Werner travou seus primeiros debates sobre a estrutura de compostos inorgânicos associados aos complexos de amônia, denominados posteriormente como as “Metalaminas de Werner” ou “Cobalaminas de Werner”, pois eram complexos que usavam o metal cobalto como coordenador. O tema foi examinado por Werner considerando uma “geometria” para os átomos coordenadores centrais (IHDE, 1966, p. 383).

⁷⁴ O autor usa a expressão *meant to portray* (RAMBERG, 2003, p.325).

Pela classificação de Zemach nossos entes devem ser acomodados no espaço e no tempo para que possam ter predicção, sendo que podemos considerar a estrutura como uma destas predicções. A questão acerca da ontologia na química em ordem com a representação estrutural tem sido debatida na literatura (JENKINS, 2003; HENDRY, 2006; PERINI, 2006; SAUNDERS, 2007; SCERRI, 2007), e devemos dizer que alguns dos problemas endereçados pela literatura sobre a ontologia na química serão afastados neste trabalho. Não por julgá-los impertinentes ou improdutivos, mas porque não possuem implicações e não estão alinhados aos nossos objetivos de pesquisa. Um exemplo é o problema da noção de substância em química ou da evocação de uma essência para a manifestação das propriedades dessa substância (VANDEWALL, 2007). Com isso pretende-se focalizar a discussão sobre a ontologia dos entes químicos, sem considerar as diferentes possibilidades de predicções que entes em um estado de associação manifesta ao mundo. Nosso interesse de pesquisa trata da representação estrutural e para isso vamos considerar a ontologia desse representado com certa autonomia⁷⁵.

Acredita-se ter dado boas mostras até aqui das particularidades dos entes que são representados no processo de representação estrutural, e que a condição principal para sua predicção repousa na confiança acerca de sua natureza dinâmica. As diferentes formas de representar que encontramos até agora visam alcançar essa ontologia dinâmica. Pode-se arriscar dizer que a representação estrutural é hoje um grande projeto epistemológico para dar conta da ontologia desse ente químico, e que precisa ser situado ao alcance de neófitos e de iniciados por meio de múltiplas formas de uso. As situações de estudo criadas pelos docentes do ensino superior selecionam estados dessa situação dinâmica por meio da representação estrutural, que são apresentados em conteúdos didáticos na formação inicial dos químicos.

Como nos apresenta Suárez (2005) não há como contornar o entendimento de que o ente químico é um tipo de coisa que oferece uma localização espaço-temporal, contudo temos que compreender essa sua situação ontológica, a qual não pode ser oferecida plenamente por descritores matemáticos formais. A tensão é posicionar o entendimento ontológico sobre o ente químico em algum lugar entre as formas extremas que se apresentam como limites dessa existência. O idealismo crítico de Cassirer nega posicionar-se em qualquer extremo e implica uma revisão da ontologia habitualmente aceita no cotidiano e na ciência (SUÁREZ, 2005, p.127). Uma interpretação a ser considerada como alternativa para esses extremos pode vir a ser a *Teoria dos Tropos*.

⁷⁵ Assim descartamos qualquer tese reducionista, seja ontológica ou epistemológica. Tais questões foram endereçadas na literatura por Lombardi e Labarca (2005) e debatidas por Needham (2006).

Segundo Garret (2008) a teoria dos tropos foi apresentada em 1914 por George Frederick Stout (1860-1944) e substancialmente desenvolvida por Donald C. Williams (1953) e Keith Campbell (1981). Ela consiste na proposta de uma única categoria ontológica da qual categorias clássicas: coisas particulares (substâncias) e propriedades universais (atributos) são derivadas. Essa categoria única é designada como tropo. Segundo Imaguire (2007) outros filósofos reconheceram a existência dessa categoria, mas Williams é considerado o primeiro a propor um sistema ontológico completamente baseado nesta categoria.

A Teoria dos Tropos é uma versão do nominalismo, e como toda a versão do nominalismo procura negar a existência de universais. Ela sustenta que propriedades e relações são particulares, os chamados particulares abstratos. O exemplo clássico em muitas referências que tratam da Teoria dos Tropos refere-se a duas bolas de bilhar vermelhas. A vermelhidão de uma delas é particular porque está localizada somente nela, isso não impede que a outra bola de bilhar também de cor vermelha contenha ‘vermelhidão’ similar, mas com localização diferente. Não existe nenhuma propriedade cor em comum instanciada nas duas bolas. E assim ocorre de maneira similar com outras propriedades das bolas (simetria, esfericidade, etc.) As bolas de bilhar são compostas de tropos de cor, de forma, de peso, etc.

Os tropos são as últimas unidades componentes de tudo que existe, seja em mundos existentes ou possíveis. Os tropos são componentes fundamentais dos quais todas as outras categorias, consideradas como elementares, são derivadas. Quaisquer outras categorias são constituídas das relações fundamentais entre os tropos: *localização* e *similaridade*. A relação de localização entre tropos é externa, um tropo não localiza outro. A relação de similaridade é interna, dois tropos determinam mutuamente sua similaridade. A localização é entendida como posição no espaço e tempo. Quando dois tropos estão no mesmo objeto, pode-se dizer que são co-presentes. A relação de similaridade ou semelhança entre tropos não é concebida como um universal, que pode ser reproduzida universalmente. Quando A está em relação de similaridade com B, e C está também em relação de similaridade com D, ocorrem distintos tropos de semelhança e não um universal (semelhança) duplamente instanciado. Desse modo não há preocupações com regresso ao infinito, pois o conjunto não é explicado em termos de instanciação, mas em termos de uma propriedade da rede de tropos (Garret, 2008, p. 61).

Na Teoria dos Tropos os problemas referentes à relação entre as coisas e suas propriedades são resolvidos como relações entre tropos. A estrutura de um composto de coordenação estaria em uma relação entre tropos por co-presença com sua simetria para determinado ente químico. Estrutura e simetria seriam consideradas tropos na aquisição da ontologia de determinado ente químico. Há também a possibilidade de se considerar uma

classe de tropos. As funções de similaridade e localização entre tropos conforme atribuída originalmente por Williams (Imaguire, 2007, p. 286), oferecem uma oportunidade para criar uma função ontológica de autonomia para os objetos imediatos da representação estrutural. O processo de representação estrutural seria determinado pela seleção intencional externa de tropos contidos no conjunto do ente que se deseja representar e que devem estar co-presentes nele. O ente representado passaria a constituir uma *possibilidade tropológica* e ter garantias de autonomia funcional por meio de correspondência com a dimensão ontológica dos tropos.

Todavia, a Teoria dos Tropos tem sido bastante debatida e algumas revisões já foram realizadas por seus defensores originais, influenciando também novas proposições auxiliares (LIVANIOS, 2007; ROJEK, 2008). Por exemplo, os defensores da teoria dos tropos substituem a relação de instanciação pela relação parte-todo, contudo não há esclarecimento suficiente sobre tal relação. Um ponto chave na discussão sobre tropos é a relação entre eles, como são ligados para formar um objeto singular. Conforme afirma Garret (2008), “um feixe de tropos pode ser co-locado, mas qual é a cola que os unifica?” (GARRET, 2008, p. 61).

Tais situações de instabilidade na ontologia dos tropos nos conduzem a uma avaliação da possibilidade de colaboração com o entendimento ontológico sob o ponto de vista de processos. Uma das rotas da ontologia de processos apresentada por Seibt (2003) trata do entendimento do processo como atividade. Para a autora, trabalhos recentes em ontologia de processo têm brotado de projetos de pesquisa em filosofia da ciência, assim como da ciência da computação, em particular de manutenção de base de dados e representação do conhecimento para vários domínios da ciência médica. Ao se descartar as premissas centrais da tradição ontológica que apregoa a noção de substância como eixo central de avaliação do ente químico⁷⁶ pode-se dissolver os problemas tradicionais da individualização, universalização e persistência, assim como desenvolver propostas mais consistentes para causa, emergência e potencialidade. Na perspectiva ontológica que considera processos gerais, os indivíduos são concretos, dinâmicos, não-particulares, são semi-recorrentes em espaço ou tempo ou ambos, e não-determinados completamente. De acordo com a teoria dos processos gerais não há qualquer entidade completamente determinada no mundo (SEIBT, 2000, p. 258).

Acreditamos que ao olhar para uma ontologia processual algumas dificuldades podem ser superadas. Nem as experiências individuais, nem aquelas conquistadas por meio dos

⁷⁶ (a) qualquer indivíduo concreto é uma entidade particular e completamente determinada; (b) necessariamente ocupa, a qualquer tempo isolado, uma região espacial única; (c) possui uma infinidade de atributos definitivamente específicos.

protocolos ditos científicos nos fornecem razões para acreditar em entidades invariáveis, mas ao contrário, a plenitude do ser real deve ser pensada como um processo. Pode-se dizer inclusive que uma dessas dificuldades tem a ver com um debate de vez por outra na química: a busca por uma entidade-substrato formadora e elementar para o amplo e complexo espectro de coisas do mundo. Uma espécie de busca pela essência de tudo. A escolha por uma ontologia processual precisa ao menos ser considerada com maior cuidado, ainda que pudéssemos dizer que, no caso do Ensino de Química, qualquer discussão mais abrangente que considerasse de algum modo a questão ontológica seria de muita valia para esta área.

4. METODOLOGIA PARA A INVESTIGAÇÃO EMPÍRICA

Nesta seção procuramos qualificar a metodologia proposta para servir à investigação empírica sobre as formas de uso do objeto de estudo em relação ao Ensino Superior de Química. Recorre-se ao esforço teórico realizado no capítulo anterior para criar uma estrutura destinada à avaliação de certas implicações que decorrem de tais formas de uso nos episódios selecionados dos cursos superiores estudados. De posse dessa estrutura de análise deseja-se avaliar tais episódios que foram obtidos a partir do registro em vídeo de aulas de disciplinas do curso de química no ensino superior, dedicadas a diferentes perspectivas de aprendizagem do tema.

Nossa apresentação está dividida em três momentos que focalizam respectivamente: (i) *estrutura de análise*, (ii) *contexto empírico* e (iii) *unidade de análise*. No primeiro, apresentam-se as escolhas sobre a maneira de organizar e avaliar os dados empíricos, definitivamente influenciados pelas leituras teóricas que consideramos anteriormente. Este *modus operandi* carrega convicções sobre uma forma mais coerente de interpretar o aspecto simbólico inerente ao signo gráfico da representação estrutural, e se opõe àquilo apresentou-se como preponderante na literatura. Corresponde também a um investimento de pesquisa e se compromete como a oferta de uma *função representativa* para as formas de uso da representação estrutural no Ensino Superior de Química.

No segundo momento desse viés metodológico descrevem-se as características do universo de estudo com relação aos diferentes espaços e personagens que participaram na aquisição de nossa amostra empírica, enfatizando a coleta de material na forma de registros de observações em vídeo. Em seguida, pretende-se esclarecer o modo de organização dos registros que levam a criação de episódios como unidades de análise. Trata-se da estratégia de coleta e administração dos dados de pesquisa, com o objetivo de qualificar a amostra em estudo e apresentar os critérios de seleção e organização utilizados na formulação dos episódios que servirão de suprimento ao debate que pretende-se realizar nesta tese.

4.1 Estrutura de análise

Como apreciou-se no capítulo anterior, os referenciais escolhidos realizam um encontro entre diferentes panoramas teóricos e apóiam a tarefa de esclarecimento sobre a inserção de um signo gráfico em atividades de representação a partir de diferentes enquadramentos teórico-filosóficos. Para formalizar essa estrutura de análise, considera-se crucial o entendimento do processo de ação do signo, isso quer dizer apropriar para o ensino de química sua semiose. A leitura metodológica é comprometida com a semiótica e ousa-se inclusive dizer que traz para o cenário da pesquisa em ensino de ciências uma forma inovadora de interpretar a ação de signos em caráter simbólico.

Pretende-se criar vínculos entre as questões advindas da análise dos episódios de sala de aula com as perspectivas teórico-filosóficas concernentes à representação estrutural. Acredita-se ser fundamental tais vínculos uma vez que se pretende defender uma função de autonomia epistemológica para a química, e acata-se que somente por meio do reconhecimento do tecido filosófico tramado historicamente para a noção de representação estrutural se pode avaliar adequadamente suas situações de uso em nossos dados de pesquisa.

Conforme se apresenta na Figura 4.1, esse intento considera três categorias como as forças motrizes de análise das atividades docentes do ensino superior de química.

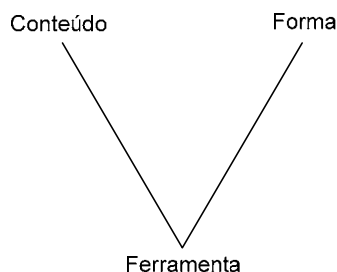


Figura 4.1 Eixos analíticos do estudo da representação estrutural no ensino superior de química.

A Figura 4.1 apresenta uma estrutura organizadora para a reunião dessas três categorias no processo de avaliação dos dados empíricos da pesquisa. Como em todo símbolo sua forma não é involuntária, mas intencional. Ela guarda a ferramenta como solo de produção e de ancoragem da tensão entre conteúdo e forma na semiose. As ferramentas são os meios de produção e de constituição da atividade simbólica a partir de seus usos, e os vértices compreendem escolhas para interpretar tal atividade. Nesse sentido, considera-se que uma ferramenta é o meio de produção de formas simbólicas a partir de certos conteúdos. Em seguida fornecem-se elementos para o estudo com maiores detalhes das atribuições metodológicas dessas três categorias na avaliação da semiose produzida nas atividades do ensino superior de química.

4.1.1 Formas simbólicas em situações de uso da representação estrutural

A *forma* tem sua origem na filosofia de Cassirer e é uma escolha de matriz epistemológica para a orientação de nossa pesquisa. Esta opção marca o caminho a ser percorrido como um procedimento na busca de uma função representativa para o signo gráfico no ensino de química. A forma é a realização do conteúdo por meio de uma ferramenta. Nenhuma forma é possível sem um processo mediador que tensiona múltiplas ferramentas para a conquista de significados. Seguindo o que apresentamos em nossos referenciais teóricos, encontramos três formas simbólicas em nossa estrutura de análise: *expressiva, representativa e significativa*.

Ao se tratar de uma categoria intitulada *forma*, a qual faz uso do legado de Ernst Cassirer, julgamos pertinente enfatizar que apropriamo-la como *forma simbólica*. Para tanto deve-se esclarecer a junção e também certa disjunção que decorre do uso desse termo em nesta metodologia. A disjunção trata do caráter atribuído por Cassirer ao termo símbolo e de sua distinção em relação ao termo signo com relação à representação estrutural.

Desde as considerações teóricas feitas anteriormente pretendeu-se marcar posição quanto ao valor de uma *base normativa* que organiza o processo de representação estrutural. Considerou-se para isso as proposições de Peirce quanto ao modo de ação do signo e baseando-se em uma avaliação teórica da relação desse signo com seu objeto, caracterizamo-la como prioritariamente simbólica. Entretanto, é necessário admitir que signo e símbolo não sejam entidades que operem em completa isonomia para Cassirer e para Peirce, ainda assim há bastante confluência entre ambas as posições de modo a atender aos interesses metodológicos. Para Cassirer o símbolo é um aspecto constitutivo de toda atividade humana e surge como uma estruturação das relações do homem com o mundo, um problema que é posto por Cassirer é saber como se origina tal estruturação simbólica que ultrapassa as ciências naturais (CASSIRER, 1989; FRIEDMAN, 2000).

Aspectos simbólicos e espaciais podem ser manifestados em objetos que viabilizam a veiculação de significados que são acumulados por meio da cultura e concretizados na visibilidade que se mostra inerente à imagem (PAIBERO; BAITELLO JUNIOR; MENEZES, 2007). Na semiótica de Peirce o símbolo é uma entidade potencial, uma classe com características peculiares, eficiências e ineficiências particulares. Como um tipo de signo o

símbolo serve para trazer ao sujeito objetos de espécies diferentes daqueles revelados por um outro tipo de signo, pois na sua função mediadora, é sempre o signo que nos coloca em contato com tudo aquilo que costumamos chamar de realidade. O que dá a capacidade de um símbolo funcionar como signo é seu caráter de lei, como uma abstração operativa que se realiza tão logo “encontre um caso singular sobre o qual agir” (SANTAELLA, 2005, p. 13). Representações estruturais configurariam símbolos na perspectiva de Peirce porque pertencem a um sistema sem o qual não passariam de traços sem nenhum significado⁷⁷.

Assumimos nessa dimensão metodológica que toda percepção que se realiza do mundo por meio de representações estruturais é simbólica, isto é, não existe dado sensível puro ao qual seja atribuído sentido posterior, mas sim dados sensíveis já concebidos com sentido, isto é, como símbolos e organizados por uma base normativa. Colocaremos em teste nossa hipótese ao submetê-la ao escrutínio da ação mediadora das ferramentas. O signo gráfico nas atividades de ensino superior de química representa algo e permite acesso intersubjetivo por meio do controle da base normativa. A tese da mediação simbólica em nosso estudo é indisputável. A fixação de significados no fluxo temporal dos eventos é permitida pela ação medial de ferramentas que dão forma simbólica ao conteúdo.

Do ponto de vista metodológico é importante esclarecer que a tríade categorial da forma como: *expressiva / representativa / significativa* não pode ser tomada em um sentido evolutivo genético de tal maneira que a próxima sobrepuja funcionalmente a anterior. Não é possível admitir, por exemplo, que toda forma simbólica qualificada como representativa seja mais vantajosa funcionalmente em detrimento de um processo expressivo. Cassirer alerta para a necessária convivência entre tais formas, mesmo quando se estabelece um movimento na direção de formas ‘superiores’. “À medida que avança o conhecimento teórico-científico a função expressiva, a imagem, é transformada em possibilidade da existência da coisa-em-si por meio de relações causais a partir da coisa. Mas a função expressiva não pode nunca adotar essa forma nem desaparecer” (CASSIRER, 1998, p. 110). Ainda nas palavras de Cassirer, sobre a necessária convivência de formas simbólicas, temos que “a conexão com a vivência expressiva primária, por mais que se avance na direção da representação e da significação, não se rompe nunca” (ibidem, p. 134). Pode-se dizer que a movimentação na direção de formas simbólicas significativas é caracterizada pela ‘subtração da imagem’, ou como se refere Cassirer, pela “redução de sua premência” (ibidem).

⁷⁷ Santaella (2005, p. 16) sugere o verbo *representar* para a natureza do símbolo, uma vez que qualidades a partir de aspectos icônicos não representam nada, pois as qualidades em um ícone só se “presentificam” (ibidem, p. 17). Para que um signo possa representar deve haver um conjunto de relações internas que promovam tal garantia, e isso é característica de um símbolo.

Para fins específicos em nossa investigação advogamos que uma forma simbólica se realiza somente por meio de seu uso. O signo isolado não possui Forma Simbólica e para esclarecer essa atribuição propõe-se um exercício de avaliação da forma simbólica a partir de um signo gráfico: a linha.

Figura 4.2 Uma linha

A linha apresentada na Figura 4.2 pode ser classificada como um signo que pode ser interpretado de diferentes maneiras. Isso nos sugere que seu caráter representativo não pode ser completamente resolvido por sua simples apresentação, mas prioritariamente por meio de seu uso, isso quer dizer que o representante carece de uma atribuição de uso para ser legitimado como substituto de algo num processo de significação. As representações estruturais fazem uso persistente de linhas, pois ela representa em diversos momentos a ligação entre dois átomos. Entretanto, todas as linhas representadas em signos gráficos podem ser consideradas equivalentes quanto à Forma Simbólica que pretendem em seus usos? Tomemos a linha em alguns exemplos.

Parece razoável propor que uma linha ao ser usada como signo para a representação de uma ligação química possa ser caracterizada como uma *forma simbólica representativa*. Ela fornece significado sobre a conexão entre elementos que se deseja ligar em nosso meio gráfico representativo. Aonde anteriormente havia um vazio, passa-se a ter algo que substitui simbolicamente o que não se pode ter à nossa frente: a ligação química. A forma representativa fica caracterizada pelo reconhecimento daquilo que se deseja por à frente sem que esse signo seja qualquer tentativa mimética ou similar do representado. Sabe-se que uma linha não é uma ligação, mas ainda assim tomamo-la em diversos usos como se fosse porque essa forma simbólica está adequada a uma base normativa que controla a noção de representação estrutural que se usa e se ensina, já está inserida na cultura de uma comunidade.

Nossa hipótese acerca do caráter representativo desta forma simbólica pode ser colocada em teste na medida em que se movimenta na direção de novos domínios teóricos relacionados à noção de ligação química. Para tanto, esse caráter representativo avança e se diversifica por meio do requerimento de novas formas de uso. Toma-se na Figura 4.3 o caso das ligações múltiplas.

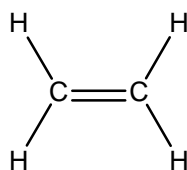


Figura 4.3 Representação estrutural de uma molécula de eteno.

A representação da molécula de eteno proposta na Figura 4.3 apresenta uma ligação dupla entre átomos de carbono pelo desenho de duas linhas iguais, mas sabe-se, a partir de conceitos subjacentes ao que se está representando na Figura 4.3, que essas duas ligações não são iguais⁷⁸. Ainda assim verifica-se que a literatura e as situações de ensino fazem uso continuado dessa forma de representação para esse tipo de enlace entre átomos de carbono. Mesmo mantendo as linhas que atribuem significado à ligação dupla como *forma simbólica representativa*, se pode admitir que no interior desse quadro simbólico desenvolve-se um caminho no sentido de *formas simbólicas significativas*, o que corrobora a tese original de Cassirer sobre a coexistência de diferentes aspectos simbólicos em uma mesma *forma*.

Ferramentas mediais simbólicas são criadas com objetivos específicos e o processo de representação é sempre intencional. Apesar da aceitação de certa prioridade para escolhas representativas nas formas de uso no ensino superior de química, deve haver momentos de expressividade nesse circuito semiótico. Pode-se ficar tentado a crer que no trato com entes químicos deva ser difícil encontrar *formas simbólicas expressivas*. Signos agindo com propriedades da coisa representada, que confundem coisa e representante em sua semiose, ou com as quais se deseja permitir diretamente a apreensão da ‘coisa-em-si’ por meio da expressão.

A despeito de concordar que uma linha não *expressa* de forma adequada uma ligação química tendo em vista a base normativa vigente, em certos momentos o professor pode fazer uso de ferramentas que pretendam *expressar* uma propriedade que se acredita contida no ente químico. Um exemplo disso pode ser dado pelo uso de uma ferramenta material em *forma simbólica expressiva* ao representar o impedimento de rotação em torno da ligação dupla do

⁷⁸ Segundo Shriver e Atkins (2003) tais ligações podem ser diferenciadas por meio da simetria dos orbitais ligantes envolvidos em cada uma, sendo classificadas como sigma (σ) e pi (π) dependendo da rotação sobre um eixo. Um orbital σ é inalterado em qualquer rotação, e um orbital π muda de sinal quando girado 180° sobre o eixo internuclear (SHRIVER; ATKINS, 2003, p. 150). Ainda sobre a representação de ligações, Gillespie e Popelier (2001) indicam que a descrição σ - π é “mais popular” (GILLESPIE; POPELIER, 2001, p. 78) porque pode ser estendida para outros compostos com o mesmo tipo de ligação nos livros de química orgânica. Estes autores consideram que é estritamente incorreto dizer que uma ligação dupla entre átomos de carbono “consiste” (ibidem) na junção de um orbital σ e um orbital π , pois estas são somente “descrições convenientes” (ibidem). Também seria incorreto definir a ligação como uma sobreposição de orbitais atômicos ou híbridos, sendo essa assunção apenas uma “descrição conveniente de um processo hipotético” (GILLESPIE; POPELIER, 2001, p. 78).

ente representado na Figura 4.3. Algumas ferramentas materiais tornam-se o meio de produção de formas simbólicas que julgamos *expressivas* ao representar tal situação, como mostramos para uma ferramenta material específica na Figura 4.4.

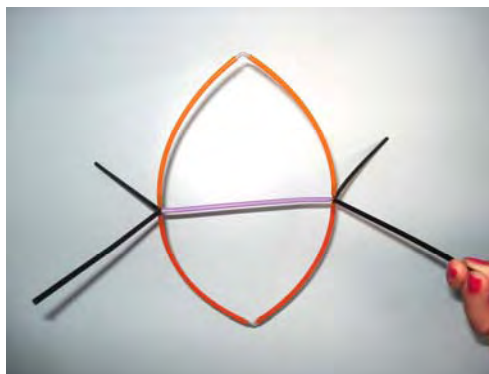


Figura 4.4 Ferramenta material em forma simbólica expressiva.

Formas simbólicas expressivas podem ser muito eficazes na representação de propriedades ou de estados que envolvem características dinâmicas, nas quais a função temporal envolve a seleção de um contínuo em detrimento de um instante de tempo. Isso pode conferir uma forte vinculação entre conteúdo espacial simbólico e descrição temporal durante o uso de uma forma simbólica expressiva

Como resultado da correlação entre as proposições de Cassirer e algumas peculiaridades de nossa pesquisa, apresenta-se na Quadro 4.1 uma interpretação para as características de cada forma simbólica a ser utilizada como orientação metodológica em nossas avaliações dos dados empíricos. Deve-se lembrar que as distinções dadas aqui entre formas expressivas, representativas e significativas têm pretensões circunscritas ao nosso objeto de pesquisa, e como já reafirmamos anteriormente não são fronteiras rígidas que demarcam a impossibilidade de inter-relação ou coexistência em algum momento. Caberá à nossa discussão empírica destacar a procedência desses aspectos nos episódios selecionados.

Quadro 4.1 - Características que orientam uma seleção metodológica acerca da categoria 'forma'.

Forma simbólica	Características
Expressiva	Dependência entre o meio material e a atividade simbólica. Junção mimética entre estados de aparência e estados de realidade. O signo manifesta a causalidade factual procedente do domínio empírico com completude. Pretende-se eficácia causal dos estados do ente representado. A semiose está inscrita em um contínuo de tempo que é selecionado por sua atribuição de uso e que proporciona a estabilidade semiótica.
Representativa	Dissolução ou diminuição de compromissos miméticos. O signo manifesta causalidades factuais estritamente por meio de adequação a

uma base normativa acordada para certa comunidade. A semióse se dá por meio de procedimentos de seleção temporais (instantes de tempo). O signo é distinto do representado, mas deve ser identificável no âmbito da base normativa.

Forma simbólica	Características
Significativa	Não pode haver nenhuma pretensão mimética. As manifestações semióticas se confundem com a própria base normativa, podendo vir a ser um de seus elementos constitutivos. O representante assim o é para seu representado independente de qualquer seleção temporal, seja ela contínua ou singular.

Pelas considerações no Quadro 4.1 tem-se uma indicação de como a função temporal de uso das ferramentas materiais podem organizar a seleção de uma forma simbólica em nossa investigação empírica. Essa função temporal se constitui numa decorrência das formas de uso e estão situadas no âmbito da ação do signo (semióse) com relação ao ente químico representado. É importante destacar para os termos dessa metodologia que se deseja avaliar formas simbólicas no terreno da relação entre o representante com seu objeto. Pretende-se alcançar essa relação a partir de diferentes formas de uso nos dados empíricos, mas reconhece-se que tais representantes agem como ferramentas em um processo medial que envolve um interpretante como elemento decisivo de sua constituição e destinatário da ação do signo.

O meio de produção da forma simbólica é constituído na ação de uma ferramenta, ou por uma inter-relação de diferentes ferramentas. Tais meios constituem as diferentes formas de uso que se estuda neste trabalho. A interpretação desse modo de agir no caso de uma ferramenta deve considerar os aspectos da mediação semiótica ao guardar o olhar para a relação com seu objeto, conforme se passa a analisar na seção seguinte.

4.1.2 Ferramentas em uso medial simbólico

A categoria *ferramenta* deriva do reconhecimento do caráter fundamentalmente mediador da atividade simbólica, tanto por convicções quanto pelas leituras que se pôde alcançar no período dedicado ao trabalho de investigação. Essa função medial provém do estudo da noção de *Mediação Semiótica* de Vigotski, ainda que ela não tenha sido vinculada à atividade mediadora de signos gráficos de caráter não textual, tanto quanto tenha considerado o papel da linguagem e das palavras na aquisição de significado.

Direcionamos nossa atenção para a interpretação do modo de agir dos signos, propondo que todo representante de entes químicos com variedade simbólica no domínio da representação estrutural poderá ser qualificado metodologicamente nesta pesquisa como uma ferramenta. Representações gráficas e materiais, os chamados *modelos moleculares*, em suas mais diferentes manifestações e especificidades de construção (varetas, bolas, bolas-varetas, superfície, etc.), brinquedos, artefatos de uso pessoal, ou o próprio corpo, podem ser tomados como ferramentas mediais simbólicas em nossa investigação.

Chama-se atenção para o fato de que o recorte de episódios é influenciado pela ação de tais ferramentas, o que destaca esta categoria como uma das organizadoras de nosso material empírico. Para este estudo é o professor que controla as formas de uso que organizam e constroem as relações de significado que julgamos relevante trazer para o debate. Procura-se nos episódios as formas usadas pelo professor no trato com ferramentas mediais simbólicas, de tal modo que é proposto movimentar-se para um novo episódio ao ser identificado uma mudança de propósito na ação do professor.

Nesta categoria tem-se a possibilidade de avaliar relações que podem ocorrer entre ferramentas. Elas devem estar constituídas por processos de mediação semiótica, que são considerados por Vigotski em dois aspectos diferentes: contextualizados ou descontextualizados. Formas contextualizadas podem ser extralingüísticas ou intralingüísticas. Modos intralingüísticos são realizados durante a plena atividade de associação entre ferramentas, e estão em uso, por exemplo, toda vez que há um processo de transposição de um tipo de representação para outra, como no caso da Figura 4.5.

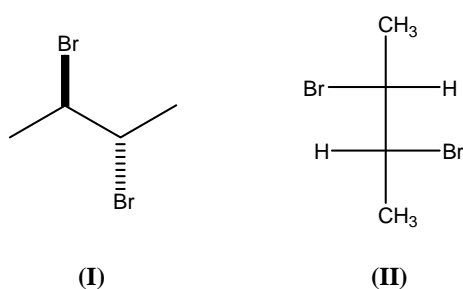


Figura 4.5. Representação em bastão (I) e notação de Fischer (II) para o (2R, 3S)-2,3-dibromobutano.

Por outro lado, formas de uso extralingüísticas incluem situações nas quais objetos não lingüísticos, ações ou eventos coexistem espacial e temporalmente com o signo. Elas se referem à relação entre objeto e signo no processo de mediação semiótica. À primeira vista tal forma de uso poderia ser banida de nossa abordagem metodológica, certos de que o objeto do qual a ferramenta é representante poderá até estar presente no mesmo espaço-tempo da

representação, mas isso será indiferente ao sujeito uma vez que ele não poderá usá-lo de forma indicativa como referência, tal qual priorizado por Vigotski na função indicativa da fala.

Cassirer também trata da denominação indicativa da fala, o que pode ser considerado como outro momento de confluência com as proposições de Vigotski. Nesse caso, o filósofo alemão situa o objeto indicado pelas expressões “aqui” ou “ali” de forma indicativa em um “sentido aristotélico”, como “algo que se encontra frente ao sujeito que fala e que pode mostrar com o dedo” (CASSIRER, 1998, p. 522). Ainda que na forma defendida por Vigotski e Cassirer se tenha certa dificuldade para apoiar uma forma indicativa como atributo para a categoria ferramenta, propõe-se uma maneira de apropriar essa forma de uso em nossa investigação.

O uso do signo em contexto extralingüístico privilegia o valor referencial do objeto, e para esses casos há aspectos da semiose que dependem da existência ou da condição ontológica desse objeto ao qual se quer fazer referência. Procurando-se manter um estatuto de adequação interna com as proposições acerca da ontologia dos entes químicos, apresenta-se aqui uma unidade categorial que considera a possibilidade de uma relação objeto-signo em situações envolvendo o uso de ferramentas, por exemplo, aonde se requeira legitimação da representação produzida. Não se defende a necessidade de uma concepção referencial para tal processo, as questões epistemológicas e históricas que deram origem ao repertório representativo em uso hoje na química refutam qualquer tentativa de apontar para tal interpretação. O que se busca é fortalecer a tese do caráter simbólico de formas de uso no ensino superior de química, ao colocar a base normativa como uma forma de uso da mesma ordem de um referencial extralingüístico para legitimação de representantes em certas circunstâncias.

As ferramentas mediais simbólicas desenvolvem um processo semiótico exclusivo nas atividades de sala de aula, pois representam o que não pode ser visto através de uma ‘substituição incompleta’ dos entes químicos. Toma-se a liberdade de adotar “as formas de uso do signo na explicação da mediação semiótica”, nos termos indicados por Vigotski (WERTSCH, 1988, p. 123), conforme assinalamos em nossos referenciais teóricos e destacamos na Quadro 4.2.

Quadro 4.2 - Características que orientam uma seleção metodológica acerca da categoria 'ferramenta'

Ferramenta em uso	Características
Extralingüístico	Recorre diretamente à base normativa por aportes indicativos. Configura-se como um recurso para a organização de modos intralingüísticos de uso.
Intralingüístico	Considera processos isonômicos em relação ao conteúdo espacial simbólico das ferramentas. São em grande medida processos de transposição de representações. Essas relações de transposição podem ser negociadas durante seu uso.
Descontextualizado	Reconhecimento de uma representação generalizada pelo uso de ferramenta(s) que prescindem de conteúdo espacial simbólico e estão situadas em caráter atemporal.

A progressão das categorias destacadas no Quadro 4.2 realiza uma espécie de movimento de retirada do objeto na atividade representativa. Para as formas extralingüísticas permanece uma necessidade de uso do objeto na construção do processo representativo, que ocorre pela marcação de relações do signo com a base normativa em uma atribuição ontológica processual. Têm-se cenários de elaboração do conteúdo espacial simbólico que se referem aos aspectos julgados de interesse na base normativa, sejam eles convenções ou conceitos. Os usos intralingüísticos devem ser atribuídos às situações que constituem conteúdo espacial simbólico por meio da relação entre signos. Nesses casos os processos representativos não são carentes de aportes ao objeto e podem ser criados na vinculação entre estados simbólicos diferenciados, quando se pretende destacar aspectos do conteúdo que não são contemplados por certo tipo de modo representativo. Deve-se salientar que o uso intralingüístico não exclui os aportes à base normativa, que permanece em uso para todos os modos categoriais do Quadro 4.2, o que se têm agora é que esse aporte não é o único modo para constituição de sentidos simbólicos no processo. O único modo que pode prescindir de conteúdo espacial simbólico é o descontextualizado, para o qual prevalece uma dinâmica de construção simbólica que não carece de situar o objeto em qualquer contexto exclusivo.

Para a compreensão final de nossa estratégia de identificação de categorias de análise necessita-se reconhecer como selecionar o conteúdo espacial simbólico típico das formas de uso presentes no ensino superior de química. Esse trabalho de reconhecimento é uma escolha também influenciada por trabalhos oferecidos na literatura sobre o tema.

4.1.3 Habilidades espaciais como conteúdo da atividade medial simbólica

A categoria *conteúdo* é trazida como escolha para nossa metodologia pela influência das leituras de Edmund Husserl que permite propor a ocorrência de conteúdos simbólicos durante a realização de processos semióticos. Nele se reconhece também a aproximação com a química disciplinar que convoca o signo gráfico a agir por meio do uso de diferentes habilidades espaciais. As pesquisas que focalizam em seus aspectos metodológicos habilidades espaciais concentram-se na aplicação de testes padronizados⁷⁹, com a intenção de por em evidência certo tipo de habilidade que esteja no foco da pesquisa. A literatura nos informa que uma das habilidades espaciais mais pesquisadas é a rotação mental (KIKAS, 2006). Há tipos de testes padronizados na pesquisa em psicologia e em educação matemática para dar conta das diferentes habilidades espaciais. E tais pesquisas estão relacionadas a uma perspectiva de verificação de competências cognitivas de alunos ou de especialistas por meio da resolução de problemas que associam as habilidades aos testes padronizados. Por exemplo, Wu e Shah (2004) apresentam ampla revisão da bibliografia sobre as habilidades espaciais em situações associadas ao aprendizado da química, e indicam que neste domínio há congruência em torno de três categorias: visualização espacial, flexibilidade de fechamento e relação espacial.

Consideramos que nosso trabalho amplia as perspectivas metodológicas sobre habilidades espaciais, pois reconhece habilidades em uso na prática docente. Pretende-se identificar grupos de habilidades que são selecionados nas atividades escolhidas por professores do ensino superior de química. Para isso julgamos adequado reunir um grupo de habilidades que tivesse confluência tanto com a bibliografia sobre o tema quanto com nossa questão de pesquisa. Um guia para essa escolha foi observar o que é apresentado pela literatura sobre habilidades espaciais (MAIER, 1996) e sua correlação com exemplos em livros didáticos indicados nas disciplinas que foram estudadas. Apresentamos as características de cada habilidade escolhida no Quadro 4.3.

⁷⁹ Um dos mais destacados na literatura é o *Purdue Visualization of Rotation test* (WU e SHAH, 2004).

Quadro 4.3 - Características das habilidades espaciais a serem consideradas na avaliação da categoria *conteúdo*

Habilidade	Características	Tipos de Situações em uso
Visualização	Reconhecimento da posição de um objeto no espaço, e manipulação de suas características topológicas. Proporciona a noção de extensão dos objetos. Visualização de uma configuração na qual existe movimento ou deslocamento interno entre partes da configuração	Reconhecer características topológicas. Construção de projeções a partir de representações em bastão, ou a partir de outras projeções.
Rotação	Refere-se à capacidade de rotar um objeto em torno de um eixo definido na situação em uso.	Definição da estereoquímica de um centro quiral (R, S).
Relação	Reconhecimento de objetos em diferentes posições. Compreender a configuração de objetos ou partes de objetos na sua relação com outros.	Reconhecer a identidade de uma estrutura por meio de sobreposição. Reconhecer isômeros por meio de suas imagens especulares. Alinhar eixos de representações diferentes.

Não se tem a intenção de construir correlações de relevância de certa habilidade em detrimento de outra, mas sim de verificar como é possível relacionar qualitativamente o que indicamos como conteúdo da atividade simbólica com outros elementos em nossa proposta de função representativa. Sabe-se também que as situações relacionadas ao ensino de representação estrutural devem envolver mais de uma categoria de habilidade espacial.

As pesquisas que tratam da verificação de habilidades espaciais em situações com representação estrutural propõem que cada tipo de habilidade seja requisitado por um domínio conceitual específico da disciplina correspondente. Deve haver tipos de habilidades comuns requeridas a diferentes conceitos e habilidades diferentes requeridas ao mesmo conceito. O que não se tem na literatura é um ensaio metodológico que proponha suportar uma investigação das formas de uso em diferentes disciplinas. As proposições da literatura retomam sempre a submissão de neófitos e expertos a conjuntos de testes clínicos.

Propõe-se um exemplo que fornece condições de esclarecer a utilização deste item na estrutura de análise. A *isomeria geométrica* é uma ocorrência destacada tanto no domínio da química orgânica quanto na química inorgânica⁸⁰. A IUPAC “desencoraja fortemente”

⁸⁰ O conhecimento da isomeria geométrica a partir das situações da química orgânica é um conteúdo selecionado para ensino também nos currículos do Ensino Médio, ao passo que os casos da isomeria geométrica a partir da química inorgânica estão concentrados no Ensino Superior.

(MOSS, 1996, p. 2209) o uso do termo “isomerismo geométrico”⁸¹ o qual considera obsoleto, e no lugar dele recomenda o uso do termo “*isomerismo cis trans*” (ibidem).

A atribuição *cis* ou *trans*⁸² relativa ao isomerismo de um ente químico localiza uma condição da estrutura desse ente, que se atribui como concernente à habilidade espacial de *visualização*. Uma atividade de qualificação do isomerismo como *cis* ou *trans* privilegia o uso de características estéreas do símbolo em conjunto com a base normativa subjacente ao processo representativo. A base normativa deve permitir que se possa visualizar esse conteúdo espacial característico do ente químico. Vejamos exemplos dessa situação na Figura 4.6.

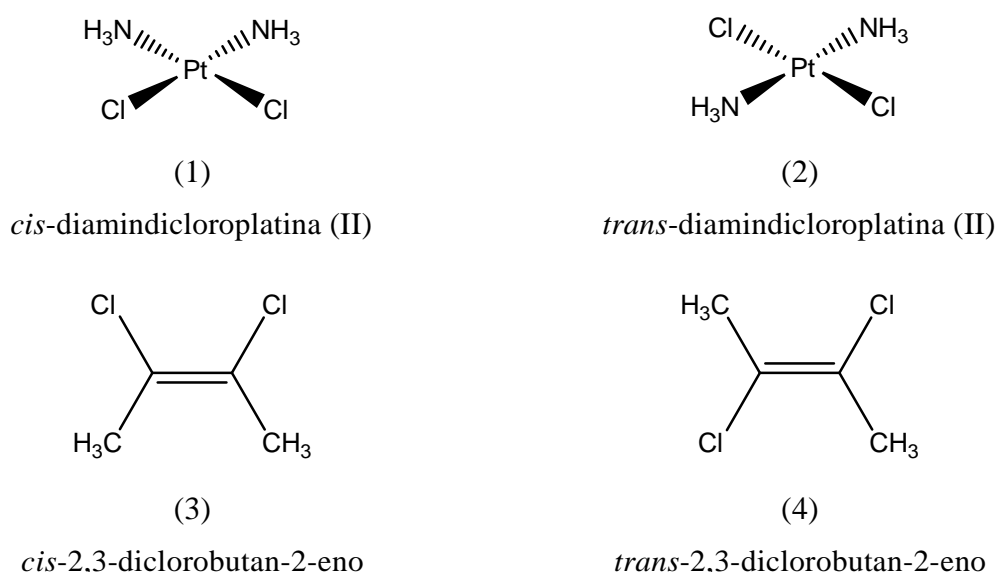


Figura 4.6. Representações estruturais sobre o isomerismo *cis trans* em diferentes substâncias que consideram como conteúdo simbólico a *visualização* espacial.

Na Figura 4.6 as representações tratam de colocar em evidência o isomerismo *cis trans* de diferentes substâncias, tanto sob o aspecto da química inorgânica, nos casos dos compostos de coordenação (1) e (2), quanto para a química orgânica, nos compostos (3) e (4). Em todas elas o conteúdo da atividade movimenta-se em torno da habilidade espacial da *visualização*. Ser capaz de reconhecer isômeros *cis* e *trans* depende do reconhecimento da posição dos ligantes, tanto em relação aos outros ligantes quanto em relação à uma ligação. Ambos os domínios da química comungam um conteúdo espacial simbólico. Os detalhes das bases

⁸¹ A despeito dessa consideração que pode ser encontrada no manual de terminologia básica da estereoquímica da IUPAC o termo é considerado em diversos livros didáticos para ensino superior.

⁸² *Cis* e *trans* são prefixos de origem latina indicando respectivamente *da parte de cá de* e *para lá de*.

normativas que levam ao reconhecimento desse aspecto comum são diferenciados⁸³, mas diante do representante simbólico o objetivo é visualizar o mesmo aspecto estrutural.

A classificação que se propõe para as habilidades espaciais reconhece dois aspectos na sua elaboração. Primeiro, destacar a habilidade de rotação espacial, que é consagrada na literatura como uma das mais importantes e permanentes nas atividades relacionadas à representação estrutural. Segundo, possibilitar a identificação de existência ou não de relações entre signos por meio de conteúdos espaciais simbólicos. Com isso se pretende verificar a relevância de considerar a habilidade espacial como conteúdo para a atividade simbólica.

4.2 Contexto empírico

Os referenciais que foram avaliados até aqui conduzem a uma forma de ver e de analisar situações de estudo, avaliar a produção simbólica por meios gráficos, materiais e gestuais que possam funcionar como auxiliares em processos explicativos. Esses diversos meios são utilizados como suporte para a criação de múltiplos sentidos, ou pela combinação idiossincrática de todos eles com vistas à construção de significados. Todos esses movimentos nas situações de sala de aula transformam-se no *corpus imagético* de nossos episódios.

Tem-se claro a importância do discurso, dos enunciados e das falas dos professores nas situações analisadas, e é por meio deles que iremos nos guiar frente às nossas escolhas. Todavia, pretende-se usá-los como elementos complementares naquilo que analisamos. Em boa medida isso aparece ao assistir aos episódios, e torna-se prioridade para o pesquisador, que conduz os registros, focalizar detalhes do que se desenha, do que se escreve, do que se projeta, do que se cria com suporte material ou mesmo dos gestos que dramatizam e agem representativamente⁸⁴. Nesta seção trata-se de qualificar o contexto empírico que contorna nosso estudo e apontar as escolhas feitas a fim de determinar nossa unidade de análise.

Segundo Martins (2006), gravações de áudio e vídeo não devem ser consideradas como registros fiéis de observações realizadas, mas sim como instrumentos reveladores de um olhar e portadores de uma intenção, como uma etapa de construção dos dados (MARTINS, 2006, p. 299). Assim, os dados “não existem de forma independente do observador nem

⁸³ Para os compostos de coordenação está relacionado a orientação dos orbitais d do átomo central, e com relação aos compostos orgânicos trata-se da posição dos ligantes em relação ao plano da ligação dupla entre átomos de carbono.

⁸⁴ Essa opção é quase contingente uma vez que o somente o áudio nos conduziria a enunciados que tornaria necessário um complemento gráfico devido ao seu conteúdo referencial.

podem ser objetivamente acessados e descritos” (ibidem, p. 300). Mesmo assim ressalta-se a impossibilidade de se assumir um relativismo ingênuo nesse processo, destacando a exigência de explicitação por parte dos investigadores, dos interesses ao longo do processo de investigação. Considera-se que tais questões possuem confluências com este trabalho e concorda-se com sua preocupação em relação à relevância de pressupostos ontológicos e epistemológicos para a pesquisa educacional (MARTINS, 2006, p. 302).

Os interesses deste trabalho convergem para a qualificação da sala de aula a partir daquilo que o professor seleciona para realização de suas atividades, que procura oferecer aos estudantes como determinante para o processo de aprendizagem da noção de representação estrutural. Utilizam-se registros de vídeo e áudio, conduzidos em cursos de graduação do ensino superior de química. O material de pesquisa recorta o referimento atribuído aos símbolos pelo professor ao conduzir seu curso. Dá-se especial valor ao aspecto visual do registro “áudio-visual”.

Os dados referem-se a um conjunto de aulas de ensino superior gravadas pelo próprio pesquisador durante os anos de 2005 e 2006. A representação estrutural é um tema presente em muitas disciplinas do ensino superior de química, selecionou-se aquelas que tivessem em seu programa o foco no ensino e na discussão de temas elementares da representação para cada área dos cursos de bacharelado e de licenciatura em instituições no estado do Rio de Janeiro. Participaram da pesquisa duas universidades e um centro de educação tecnológica que oferecem cursos de Licenciatura em Química. O Quadro 4.4 apresenta algumas características das disciplinas nas quais foram obtidos registros audiovisuais.

Quadro 4.4 – Disciplinas pesquisadas em instituições de ensino superior.

Nome da disciplina na instituição	Período oferecido	Quantitativo de alunos
Química Geral Estrutural	Primeiro	44
Introdução à Química de Coordenação	Quinto	31
Estereoquímica	Oitavo	6
Química Orgânica I	Segundo	26
Estereoquímica	Terceiro	14

Do conjunto de disciplinas situadas acima foram selecionadas as duas primeiras para a avaliação empírica. Essa escolha considerou que elas ofereciam grande multiplicidade de ferramentas em uso e permitiam abranger equitativamente questões da química orgânica e da química inorgânica.

A escolha do professor participante está relacionada a fatores direcionados a sua possibilidade de adesão à pesquisa. O procedimento geral de aproximação com os professores participantes constou de uma reunião inicial com a apresentação do tema do projeto e esclarecimento da forma de registro, avaliando-se os impactos e as oportunidades que a disciplina poderia oferecer à pesquisa. Todos os professores convidados são doutores em suas respectivas áreas de atuação e docência, alguns com mais de vinte anos de dedicação à área que lecionam. A aproximação inicial considerou também a oportunidade de oferta da disciplina na instituição pesquisada, cada professor indicou o semestre/período que estaria lecionando a disciplina que interessava à pesquisa.

Estando apalavrado o acordo de pesquisa e colaboração com o professor a partir da reunião inicial, aguardou-se o momento indicado pelo professor participante para que fosse feita uma apresentação do projeto e de seus objetivos aos alunos daquele período. Durante a apresentação aos alunos da turma os interesses da pesquisa são expostos ao grupo e procura-se conquistá-los quanto à sua autorização para realização dos registros de áudio e vídeo. Caso todos os alunos concordem com a filmagem das aulas, devem assinar um contrato de pesquisa que os protege de quaisquer divulgações ilícitas aos propósitos da pesquisa. A confiança e a colaboração do professor participante são muito importantes nesse momento. As filmagens tiveram início na aula seguinte à data de assinatura do contrato de pesquisa, contudo, cada professor indicou um momento diferente para a conversa com a turma.

Durante as filmagens nenhuma posição fixa em sala de aula foi utilizada, considerando-se possíveis regiões centrais e àquelas localizadas do meio para o fundo da sala, pretendendo-se minimizar a perturbação causada por uma câmera em cada aula. Procurava-se com isso não incomodar a visão dos alunos e ao mesmo tempo não perder qualidade de som, uma vez que foi usado somente o microfone da própria filmadora. Foi utilizada uma filmadora para fita de 8mm, uma extensão para alcançar um ponto de energia elétrica⁸⁵ e um tripé com altura máxima de 1,70 m. Tais recursos eram montados de 5 a 10 minutos antes das aulas serem iniciadas⁸⁶.

⁸⁵ Algumas salas não possuíam pontos de energia elétrica nas paredes.

⁸⁶ Em algumas vezes o local da aula mudava “em cima da hora” e a montagem era feita mesmo durante seu início.

4.3 Orientações para a construção da unidade de análise

Outro aspecto metodológico importante trata de reconhecer modos de seleção dos episódios que serão considerados como unidades de análise a partir das categorias explicitadas anteriormente. O material que se dispõe para estudo são gravações em formato *mpeg* de aulas de duas disciplinas de cursos superiores. As gravações foram conduzidas pelo autor desta tese que também produziu registros livres em papel durante as aulas. O objetivo dos registros é garantir que aspectos julgados de interesse para a pesquisa durante os registros em vídeo das aulas não fossem esquecidos no momento da transcrição.

4.3.1 Ferramentas analíticas: construção de mapas de eventos

A partir de outras intervenções de registro em sala de aula que procuram destacar os aspectos não verbais em uso nas atividades docentes (MARTINS, 2006) desenvolveu-se um mapa de eventos. Tendo por base o que é proposto para esta ferramenta na literatura, procurou-se organizá-la de modo a entender: (i) como o tempo é gasto no transcurso de uma aula; (ii) destacar temas e conceitos que estão em jogo durante as atividades; (iii) assinalar de forma abrangente os tipos de ferramenta em uso; (iv) organizar os tipos de conteúdos curriculares que são contemplados nas aulas. Para atender a essas expectativas usamos como chave primária para o mapa de evento a classificação quanto a ser organizativo ou explicativo e a partir desta chave os respectivos itens que conferem desdobramentos para as premissas assinaladas anteriormente.

O mapa de eventos foi organizado seqüencialmente em relação às aulas de cada disciplina. Nele se pode verificar, para cada episódio, o contexto da aula em questão, percebendo também sua organização. Seu formato obedece à idéia de um quadro contendo as seguintes colunas: número de ordem, início do evento, fim do evento, natureza do evento, tópicos, ferramentas e detalhamento. Um fragmento do mapa de eventos da disciplina Introdução à Química de Compostos de Coordenação pode ser observado na Figura 4.7. O mapa de eventos para a disciplina Introdução à Química de Coordenação se encontra no Apêndice B, e o mapa de eventos para a disciplina Química Geral Estrutural se encontra no Apêndice C.

Aula (B) – 28/04/2006						
N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Tópicos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:05:45	(E) O que é um orbital?	(CE)	–	Pede para alunos escreverem o que é um orbital. Pergunta aos alunos o que escreveram. Alunos respondem sobre o que um orbital. Orbital é uma função de onda. Combinação linear de orbitais. Atividade somente discursiva.
2	00:05:45	00:14:36	(E) Ondas, radiações eletromagnéticas e os átomos.	(CE)	(P)	Energia, frequência e comprimento de onda. Modelo quântico do átomo. Espectro eletromagnético. Usa projeção de transparências. Séries. Modelo ondulatório. Modelo particular da matéria. Dualidade-onda-partícula.
3	00:14:36	00:26:09	(E) Mecânica quântica.	(CE)	(P)	Energia de elétrons em níveis de energia. Equação de Schrödinger. De onde vem os orbitais. Interesse no significado físico das soluções da equação de Schrödinger. Soluções de contorno. Números quânticos. Há uma passagem interessante na qual parece que o professor imprime um diálogo com a equação.

Figura 4.7. Fragmento do mapa de eventos da disciplina Introdução à Química de Coordenação

Na *natureza do evento* tem-se a chave primária do mapa, uma busca a um evento requer a identificação de sua natureza, isso se deve ao interesse no estudo de eventos que não estejam vinculados à atividade de organização, mas que revelem algum conteúdo explicativo. A natureza do evento é colocada em dois tipos: organizativo e explicativo, conforme o Quadro 4.5.

Não se distingue entre eventos organizativos, a não ser que sejam intercalados por eventos explicativos. Caso o professor use vinte minutos com a turma tratando da postura deles e siga para uma avaliação dos resultados da prova, não se faz distinção, apenas assinala-se como um evento organizativo. Eventos explicativos são delimitados por dois critérios: (i) mudança de conteúdo ou tema, e (ii) mudança de contexto para mesmo conteúdo curricular, normalmente associada à mudança de um ente químico em estudo.

Quadro 4.5 – Características do item “natureza do evento” para o mapa de eventos.

Natureza do evento	
Organizativo (O)	Destina-se a administração das atividades do curso, pedidos de silêncio, comunicados, negociação da agenda do curso, e outras intervenções necessárias.
Explicativo (E)	Destina-se a produção de enunciados sobre um objeto, situação, conceito, estado das coisas do mundo, estabelecendo relações causais entre eles ou não. Qualquer intervenção que envolve um aspecto direto ou relacionado ao tema da disciplina.

Um evento explicativo pode tratar de diferentes conteúdos previstos (ou não) no currículo escrito ou ementa da disciplina⁸⁷. Uma vez que a intenção é focalizar o estudo em

⁸⁷ Pode-se interrogar quanto ao caráter por demais abrangente dado à natureza explicativa neste momento, uma vez que a literatura sobre filosofia e em ensino de ciências considera formas específicas para a interpretação dos usos de explicação (MORTIMER, 1998; TOULMIN, 1977). Contudo, reforçamos o caráter estratégico deste recurso como chave de entrada para a busca de episódios em nossa pesquisa. Ademais, identificamos certa convergência da atividade explicativa com a própria “meta da ciência”, no sentido formulado por Popper (1999),

termos das formas de uso atribuídas a processos de representação estrutural com ênfase em signos gráficos e ferramentas, elaborou-se uma classificação para reconhecer locais da seqüência de ensino que se destinem a esses tipos de ocorrência. Classificou-se todo o conteúdo curricular disponível nas seqüências de ensino das disciplinas que estudamos em quatro tópicos: técnica de representação, habilidade espacial, estrutura e atividade e característica estrutural. O detalhamento para cada um deles encontra-se no Quadro 4.6.

Quadro 4.6 – Características do item “tópicos” para o mapa de eventos.

Tópicos	
Técnica de representação (TR)	Ensino de técnicas específicas para representação de entes químicos e a transposição entre representações. Informar sobre os aspectos que dão legitimidade àquela representação. Envolve também o reconhecimento de uma determinada técnica de representação.
Habilidade espacial (HE)	Explicação sobre os procedimentos associados à habilidade espacial. Procedimento de rotação, translação, deslocamento, corte, separação, realizados com ferramentas gráficas, materiais ou gestuais.
Estrutura e atividade (EA)	Discussão de características estruturais em função de uma propriedade da substância. Correspondência de uma estrutura com uma propriedade sensivelmente observável. Situação para explicar a correspondência da estrutura com o estado da coisa a representa no mundo.
Característica estrutural (CE)	Ensino de características relacionadas à estrutura de entes químicos (elementos de simetria, ângulos de ligação, forma, hibridação). Envolve o reconhecimento de algo que pertença à estrutura e que possa ser útil na compreensão da sua atividade química e na possibilidade de destingi-la de outra estrutura.

Ainda na formulação do mapa de eventos pretende-se selecionar os tipos de ferramentas que estão em uso. Foram selecionadas três ordens distintas de ferramentas para serem identificadas durante a elaboração do mapa de eventos, a saber: gráfica, gestual e material, conforme detalhadas no Quadro 4.7.

como encontrar explicações satisfatórias de qualquer coisa que nos impressione como necessitando de explicação. Nesse caso, por explicação entende-se tanto “um conjunto de asserções por meio das quais se descreve o estado de coisas a ser explicado”, quanto as asserções explicativas que “formam a *explicação* no sentido mais estreito da palavra” (POPPER, 1999, p. 180).

Quadro 4.7 – Características do item “ferramentas” para o mapa de eventos.

Ferramentas	
Gráfica (P)	Esta categoria é atribuída quando o professor utiliza o quadro ou outro meio de suporte gráfico (escrita) para desenvolver atividades ou suportar enunciados. Boa parte da produção gráfica suportada em diferentes meios pelo professor (quadro, slide, projeção, etc.) torna-se uma anotação em papel no caderno do aluno.
Gestual (G)	Anotamos nessa categoria quando o professor utiliza o próprio corpo ou partes dele como um elemento (signo) da atividade representativa (semiose). Não consideramos nesta categoria, por exemplo, gestos usados para indicação ou ênfase. Consideremos aquelas atividades gestuais que tomam lugar de um ente no circuito representativo da explicação do professor.
Material (M)	Anotada quando o professor utiliza qualquer meio ou produto material (brinquedos, bolas de tênis de mesa, modelos moleculares, folha de papel, varetas, palitos, canetas, giz, aparelho de telefone celular) como suporte para sua atividade e como signo de um processo de representação estrutural.

Pode-se dizer que em alguns momentos, por meio de seus usos, os gestos, os produtos materiais ou gráficos podem funcionar como meta-signos (signos de signos) em uma descrição semiótica moderna (SANTAELLA, 2005), ou como apresentamos em nossa incursão teórico-filosófica como representações de representações.

Os critérios usados para a delimitação dos eventos em nosso mapa também recebeu influência do trabalho de Martins (2006).

“Os eventos representados no mapa (de eventos) não emergem naturalmente. Sua delimitação é um ato interpretativo, construído na interação entre pesquisador e material empírico, a partir de critérios que têm como base o referencial teórico e os objetivos da investigação e que constituem a base da descrição da situação discursiva pretendida” (MARTINS, 2006, p. 309)

A pesquisa tem como objetivo focalizar os signos gráficos usados em processos representativos durante aulas do ensino superior de química. Aliado às características do discurso que o professor usa para organizar sua aula damos privilégio à relação entre signo gráfico, meios materiais ou gestuais e conteúdo em jogo na atividade, a fim de marcar os momentos de início e fim de um episódio.

Conforme nos alerta Martins (2006) “o mapa não descreve de forma objetiva e completa a seqüência de eventos registrados na aula, mas destacam quais eventos são significativos com relação aos nossos interesses específicos” (MARTINS, 2006, p. 311). Nosso mapa privilegia as situações nas quais são colocadas em evidência signos gráficos, ou

processos de representação por meio gestual e material. Destacou-se isso tendo em vista colocar em confronto as situações que envolvem diferentes formas de uso da representação estrutural com a estrutura de análise. Pretende-se focalizar o uso de diferentes formas de representação, entendendo que elas estão envolvidas em conteúdos curriculares das disciplinas selecionadas. Um evento é uma macroestrutura que comporta diversas situações, pode envolver um único conteúdo curricular, mas abraçar diferentes tópicos e colocar em uso diferentes ferramentas.

Um exame inicial dos eventos mapeados sugere uma diversidade de formas de uso aliadas as diferentes ferramentas para seu suporte. Faz-se necessária uma análise mais detalhada dessas formas de uso por meio da localização de episódios que destaquem usos por meio de ferramentas, conteúdos e formas simbólicas. Somente por meio de uma análise mais elementar das dinâmicas de uso de tais componentes poderemos avaliar adequadamente como as categorias podem contribuir para a avaliação empírica.

4.3.2 Critérios para a construção de episódios

Os mapas de eventos nos fornecem um panorama da seqüência de atividades docentes em uma aula, e informam sobre o uso de ferramentas como auxiliares em processos de explicação dos temas envolvidos no programa de cada disciplina. Contudo, eles sinalizam apenas um olhar inicial para o foco da pesquisa. Os interesses sobre esse panorama inaugural encaminham para episódios específicos que possam conjugar os diferentes aspectos em estudo: o uso de diferentes ferramentas nas atividades em sala de aula, o jogo múltiplas formas representativas para apreender o mesmo objeto, o caráter participante das habilidades espaciais.

Um dos critérios para selecionar episódios trata de reconhecer, no primeiro momento, eventos nos quais se dá a interação com os alunos. Nesse caso, excluíram-se eventos organizativos dessa busca. Tratando-se de seqüências de ensino situadas em cursos superiores, levou-se em conta que o processo de interação considera a produção de enunciados explicativos que têm a participação dos alunos em diferentes atividades. Um professor interage com um aluno ao provocá-lo com exemplos a serem discutidos de maneira conjunta, ao propor exercícios a serem resolvidos em tempo de aula. Nesses termos, cada professor pode interagir de forma diferente e não se julga o mérito dessa interação, se adequada ou não

para o fim a que se destina, mas se trabalha para reconhecer as formas de uso de representação estrutural em jogo a partir delas.

As escolhas para recortar episódios estão ajustadas aos interesses de pesquisa e os mapas de eventos nos permitem localizar quais deles privilegiam a conjugação de diferentes tipos de conteúdos associados aos processos representativos em estudo. Por meio desta aproximação foram recortados episódios que tratam da combinação de conteúdos relacionados à habilidade espacial (HE) e à técnica de representação (TR).

A partir desse quadro seletivo inicial, ajustaram-se as lentes para um subsistema de eventos que guardam pertinência com a associação de múltiplas ferramentas. Desse conjunto de eventos foram recortados também aqueles que se caracterizam pelo confronto de diferentes formas de representação. Por exemplo, consideramos ricos os episódios que colocam em evidência a comparação entre ferramentas.

N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Tópicos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
4	00:07:16	00:20:37	(E) Número de coordenação cinco. Características.	(TR) (HE) (CE)	(P) (M)	Estruturas possíveis para número de coordenação cinco: bipirâmide trigonal e pirâmide quadrática. Inicialmente desenhadas no quadro, em seguida montadas pelos alunos no modelo de varetas. A professora pede que um a aluno monte a bipirâmide trigonal e outra a pirâmide. A professora confronta as ferramentas materiais com o que está desenhado no quadro. Episódio rico. Alunos tem dificuldade em montar no magnetix as estruturas.

Figura 4.8. Fragmento do mapa de eventos com um evento selecionado para a busca de episódios

A fronteira entre os episódios é demarcada pela verificação da mudança de propósito da ação do professor. Muitas das atividades explicativas encontradas nos eventos mapeados ocorrem do esclarecimento daquilo que se propõe ensinar por meio de “situações-exemplo”. Nesses casos, considera-se um representante que agregue a maior quantidade de funcionalidades em acordo com o que se pretende explicar, por exemplo, uma molécula, uma estrutura, ou uma configuração. A fronteira dos episódios também pode se referir à mudança de exemplos, tratando do mesmo tema. Mas de uma forma geral, consideram-se como elementos para a demarcação de fronteira entre episódios os segmentos que indicam mudança de tema.

Para a organização dos episódios, com vistas a destacar a produção das atividades em sala de aula propõe-se um quadro com as seguintes colunas: seqüência de turnos de fala, numeração, sujeito e transcrição dos turnos de fala, características da ação no turno e imagens (slides) da ferramenta em uso. Os quadros de episódios estão apresentados no Apêndice A. Cada episódio possui uma identificação entre parênteses, em seguida de sua numeração seqüencial, que permite identificar sua relação com o evento e a disciplina de origem, de acordo com a regra de formação disposta no Quadro 4.8.

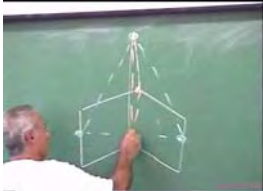
Quadro 4.8 – Regra de formação da identificação do episódio.

Identificação do episódio	XXX-DDMMAAAA-EE
XXX	Identificação da disciplina: IQC = Introdução Química Coordenação QGE = Química Geral Estrutural
DDMMAAAA	Data da aula: DD = Dia MM = Mês AAAA = Ano
EE	Número do evento ao qual o episódio foi retirado

Além do código de identificação, cada episódio possui um título que é conferido pela identificação do tema que está sendo tratado nele. O tema do episódio ajuda a entender o propósito do professor em relação ao programa da disciplina de uma maneira geral.

Nos quadros de episódios (Apêndice A) a chave de entrada é a seqüência de turnos de fala. Uma seqüência de turnos de fala envolve um período tempo em torno de uma atividade explicativa. Sua transição é demarcada por uma mudança de ação no episódio, que pode ser constituída por um intervalo de tempo entre atividades, mudança do propósito da explicação ou uma intervenção de alunos. No Quadro 4.9 apresenta-se uma seqüência de um episódio da disciplina Química Geral Estrutural.

Quadro 4.9 - Episódio 10 QGE-29032006-02 – Planos de simetria do norbornano:seqüência 4.

S.	No. Turno (Sujeito) Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta em uso
4	29 (P) Dois planos, certo? Tem um que corta aqui, tem um que corta aqui. Eixo? 30 (P) Então olha só, vamos voltar para cá. Eu tenho um plano que passa aqui ó, certo? E eu tenho um outro plano que passa aqui ó. Um é esse e o outro é esse aqui, certo? Eixo?	Volta-se à representação gráfica do norbornano no quadro. Desenha os dois planos de simetria que foram objeto de discussão no episódio.	

Os turnos de fala de um episódio são numerados sequencialmente com a identificação (P) para fala do(a) professor(a), ou (A) para a fala de alunos que podem ser adicionados de numeral para distinguir entre diferentes alunos (A1, A2, etc.). A ação no turno descreve aspectos considerados importantes para entender-se o contexto envolvido na seqüência em estudo.

O quadro de episódio proposto nesta metodologia apresenta para cada seqüência de turnos de fala um conjunto de imagens que pretende destacar as ferramentas em uso. As imagens podem ser fotos das seqüências de vídeo gravadas, ou reproduções gráficas, feitas

pelo pesquisador, do que está sendo reproduzido na lousa. Algumas reproduções gráficas são resultantes de limitações na resolução ou na combinação das imagens do vídeo, e foram feitas para colaborar com o entendimento da situação apresentada pelo professor no momento da atividade.

Essa última coluna de nosso quadro permite criar um diferencial de visualização para que, no capítulo seguinte, possam ser apresentados e discutidos os resultados com uma percepção mais segura do tipo de signo em uso. Ressalta-se aqui que esse recurso somente se tornou possível devido à valiosa colaboração dos professores e alunos que participaram dessa pesquisa, aos quais se deve imenso agradecimento.

5 RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO EMPÍRICA E DISCUSSÃO






Os mapas de eventos demonstram ser uma poderosa ferramenta para a organização dos registros de vídeo. A partir de recortes guiados pelo quadro metodológico de referência, tais recursos permitiram localizar episódios que constituem o material empírico que será analisado neste capítulo. Pretende-se construir um conjunto de dados relevante ao propósito de esclarecimento e apresentação das formas de uso de temas que tratam da representação estrutural no ensino superior de química. A estratégia de apresentação usada leva em consideração as categorias firmadas anteriormente, e coloca em evidência como conteúdos espaciais simbólicos agem nos processos de ensino da representação estrutural através de ferramentas mediais, para produzir diferentes formas simbólicas.

Destacam-se 13 episódios do conjunto de eventos mapeados. Reafirma-se que os critérios de seleção consideram verificar situações nas quais estão envolvidas múltiplas ferramentas e técnicas de representação e habilidades espaciais. O tamanho de cada episódio é diferenciado e reflete a oferta de um tema ou o esclarecimento de um problema durante a aula, que pode ser identificado pelo título do episódio. Delimitaram-se os episódios em função de demarcar uma ação representativa, por meio da identificação do propósito dessa ação. A delimitação é facilitada por características enunciativas da ação em curso e é selecionada por envolver como iniciação uma provocação, tanto do professor como do aluno. Essa provocação é normalmente uma pergunta em uma atividade explicativa ou em um exercício proposto para realização em tempo de aula. Uma marca característica dos eventos encontrados nos registros do estudo é a mobilização de alunos em torno de atividades em tempo de aula. Apesar de possuírem uma grande carga de preleção, tais eventos são marcados também por esse tipo de atividade. Outra característica importante das duas disciplinas selecionadas para discussão é o fato de que são marcadas por testes periódicos de avaliação, os quais são realizados no início ou ao final das aulas e normalmente contribuem para a avaliação do aluno.

Os episódios concentram-se em duas disciplinas: uma vinculada à química orgânica e outra à química inorgânica. Tal escolha trata de interpretar situações em diferentes domínios da química e que como veremos, negociam de diferentes formas a relação entre suas bases normativas e aspectos representativos. Um dos objetivos na presente discussão é percorrer transversalmente os episódios da química orgânica e os da química inorgânica por meio de nossas categorias de análise, destacando relações e especificidades quando necessário. Entretanto, antes de iniciar tal percurso, propõe-se exercitar-se o trabalho com um único episódio, percorrendo-o com as categorias e percebendo como podem ser destacadas suas

ocorrências. Apresenta-se no Quadro 5.1 todo o episódio três, como escolhido para tal finalidade.

Quadro 5.1 – Episódio 03 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e magnetix®

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) Vocês montaram... (risos)... não é bem isso.</p> <p>2 (P) Não sabe brincar não... deixa eu ver...ah vocês sabem brincar com esse brinquedinho.</p> <p>3 (P) Aqui ó... muito bem. Pirâmide de base quadrática.</p>	<p>Professora pede que alunos montem os poliedros correspondentes ao número de coordenação cinco usando a ferramenta material magnetix®. Após algum tempo os grupos entregam as montagens. A professora percebe que uma montagem está incorreta e brinca com o grupo.</p>	 <p>Pirâmide quadrática Bipirâmide Trigonal</p>
2	<p>4 (P) Então, esse brinquedinho agente brinca assim: cada esfera representa um ligante. Então, esse brinquedinho permite agente representar o poliedro definido pelos ligantes, vocês estão vendo aqui ó.</p> <p>5 (P) Que é essa representação aqui gente.</p>	<p>Enquanto fala, a professora segue montando o poliedro que um dos grupos não havia conseguido montar (bipirâmide trigonal). Em seguida, vai ao quadro e compara as ferramentas materiais com as ferramentas gráficas no quadro, colocando uma sobre a outra.</p>	
3	<p>6 (P) Bom, eu mostrei para vocês usando esses esqueminhas aqui (ferramentas materiais em bastão) como essas duas estruturas são semelhantes, e agora agente vai ver como é que essas duas estruturas de fato são semelhantes.</p> <p>7 (P) Veja aqui se eu aproximar esse dois ligantes... aqui eu vou ter a mesma estrutura.</p>	<p>A professora pega a ferramenta material que corresponde ao poliedro pirâmide quadrática e faz um movimento de aproximação de duas esferas metálicas opostas da base da pirâmide (observe na sequência 1-2-3 ao lado), destacando esse movimento para a turma com o braço para cima.</p> <p>Em seguida a professora pega a outra ferramenta material, montada pelos alunos com a forma bipiramidal trigonal, e compara com a que foi produzida com o movimento das esferas a partir da forma piramidal quadrática, colocando-as uma ao lado da outra.</p>	  <p>(1) (2) (3)</p> 

Neste episódio tem-se atividade de conteúdos espaciais simbólicos que conjugam habilidades de visualização e relação. Em termos do uso da habilidade de visualização, destaca-se a focalização do episódio em torno do reconhecimento de topologias e formas em detrimento de estruturas propriamente ditas. O trabalho de visualização desse episódio concentra-se na apresentação das semelhanças e diferenças das duas topologias associadas aos compostos de coordenação que possuem número de coordenação cinco. O episódio envolve a habilidade de relação entre ferramentas de mesma ordem (duas ferramentas materiais), bem

como o trabalho de relação com ferramentas de ordens distintas (ferramenta material e ferramenta gráfica).

As ferramentas materiais e gráficas deste episódio apóiam-se no privilégio de um modo intralingüístico de uso. Esse modo intralingüístico pode ser conferido na seqüência dois (Episódio 03 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e magnetix®: seqüência 2), quando a professora se aproxima do quadro para propor uma relação entre as ferramentas gráficas e as ferramentas materiais. Tal relação intralingüística procura garantir identidade entre as topologias encontradas nas duas ferramentas de ordem diferente.

Neste episódio depreende-se a ocorrência de instâncias privilegiadas de uso para situações que envolvem ferramentas materiais. Uma ferramenta material pode sobrepujar o privilégio de outra com relação a uma determinada forma de uso. No turno seis desse episódio (Episódio 03 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e magnetix®: seqüência 3 – turno 6) a professora coloca a ferramenta material em uso como uma forma privilegiada em relação àquela que tinha sido usada em um evento anterior, ao destacar que essa nova ferramenta “de fato” permitirá “ver” como as estruturas são semelhantes. Esse privilégio pode ser entendido ao perceber-se que a ferramenta material realiza uma forma simbólica expressiva. Tal consideração leva em conta a seleção de um contínuo do tempo para favorecer a apresentação do movimento associado à transformação de uma topologia em outra, e promove uma ampliação das relações entre elas.

Além da forma simbólica expressiva em uso por meio da ferramenta material, tem-se também a realização de uma forma simbólica tipicamente representativa durante a relação intralingüística da seqüência dois. Nesse caso as ferramentas gráficas são comparadas com as ferramentas materiais em um processo tipicamente representativo, no qual se toma uma seleção temporal específica para promover a relação de identidade entre as ferramentas de diferente ordem. No Quadro 5.2 são mostradas as atribuições categoriais encontradas no episódio três com relação aos conteúdos, ferramentas e formas simbólicas.

Quadro 5.2 – Atribuições categoriais para as seqüências do episódio três.

Seqüências do episódio três	Categorias		
	Conteúdo espacial	Ferramenta em uso	Forma simbólica
1	Visualização	Intralingüística	Representativa
2	Relação espacial	Intralingüística	Representativa
3	Visualização e relação espacial	Intralingüística	Expressiva e representativa

Ao observar o Quadro 5.2 percebe-se a prevalência de usos intralingüísticos conjugados com conteúdos espaciais relacionados à habilidade de relação e visualização espacial. Por outro lado, com relação às formas simbólicas associadas a esses usos, tem-se a distinção da forma representativa como permanente ao longo do episódio. Uma vez que se consagrou nas escolhas metodológicas destacar episódios com usos de diferentes ferramentas, a associação de formas simbólicas representativas em usos intralingüísticos deve ser considerada como uma escolha favorável ao ensino de representação estrutural.

Tal combinação é coerente com os processos desenvolvidos em sala de aula, que procuram criar diferentes ambientes para esclarecer as representações gráficas para domínio dos estudantes. Diferentes situações são criadas com a intenção de favorecer a compreensão de como e quando usar ferramentas gráficas. As formas gráficas de representação devem ser seleções temporais, ainda que muitas vezes pretendam representar processos dinâmicos, elas informam sobre um momento do ente químico. Contudo, a aquisição de um processo de representação corresponde justamente a superar essa limitação temporal, e essa superação é delineada pelo uso de ferramentas em modos intralingüísticos, em um jogo entre ferramentas por meio de suas relações.

Nos capítulos seguintes coloca-se em ação o quadro metodológico, atravessando-se todos os episódios selecionados com as categorias, na seqüência conteúdo/ferramenta/forma. Deseja-se com isso realçar a aplicação de nossa proposta em um conjunto de dados não demasiadamente extenso, mas significativo aos propósitos da pesquisa.

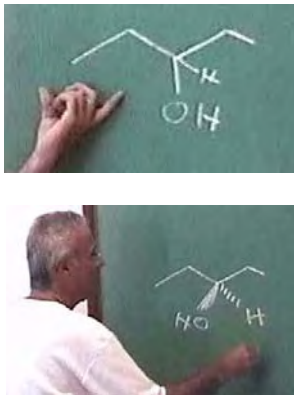
5.1 Conteúdo da atividade simbólica

Os episódios selecionados permitem entender que há um conjunto de habilidades espaciais agindo como conteúdo da atividade simbólica selecionada pelas diferentes formas de uso de ferramentas mediais simbólicas no ensino superior de química. O domínio de habilidades espaciais é necessário à realização das tarefas relacionadas a representação estrutural, pois se trata da comunicação e da inferência acerca de entes químicos com características ontológicas situadas dinamicamente no tempo e tridimensionalmente no espaço. O termo comumente usado para referir-se ao trato do ensino da representação estrutural considerando essas características espaciais é chamado de *estereoquímica*. A palavra provém do grego *stereós* que quer dizer *sólido* e por derivação de sentido pretende

tratar do aspecto tridimensional do ente químico. Pode-se estabelecer que o conteúdo espacial da atividade simbólica é um aspecto *a priori*, uma vez que as formas gráficas, por exemplo, informam aos aprendizes sobre o modo de comunicar e de fazer inferência sobre algo tridimensional num meio bidimensional.

Esse aspecto inicial do uso em situações de ensino pode ser colocado em evidência quando se estuda alguns eventos do conjunto de registros que tratam do treino específico de habilidades espaciais em situações que envolvem entes químicos⁸⁸. No primeiro episódio o professor considera a necessidade de treinar a habilidade espacial para que a representação estrutural possa ser constituída como uma semiose adequada à natureza do ente químico tridimensional. Na primeira seqüência deste episódio (Episódio 01 QGE-22032006-08: seqüência 01) o professor apresenta a necessidade de transcender o caráter bidimensional da representação por meio do uso de novos elementos simbólicos.

Quadro 5.3 - Episódio 01 QGE-22032006-08 – Ver no espaço: seqüência 01.

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) Isto aqui só escrito desse jeito já não basta mais pra gente ta, agente tem que olhar pra isso tridimensionalmente.</p> <p>2 (P) Ó, eu tenho que dizer que este OH está pra frente e este hidrogênio está pra trás. Certo?</p> <p>3 (P) Se você vier pra cá você dá uma cabeçada nele, mas se você vier pelo outro lado você não vai dar cabeçada nele, vai dar cabeçada no hidrogênio.</p> <p>4 (P) Você tem que ser capaz de olhar para isso aqui... ta... e ver... uma hidroxila pra frente e um hidrogênio pra trás. Está escrito em 2D, como é que você treina isso? Muito fácil.</p>	<p>Mostra uma representação em bastão no quadro sem a estereoquímica do carbono estereogênico, em seguida apaga as ligações nessa mesma representação e representa com cunha uma estereoquímica para os ligantes.</p>	

A modificação do caráter simbólico atribuído à representação estrutural na seqüência (Episódio 01 QGE-22032006-08: seqüência 01) informa sobre a necessária movimentação para a tridimensionalidade e considera-se esse movimento como um salto representativo simbólico. Acredita-se que esse movimento não pode ser considerado como um acréscimo de aspecto icônico na semiose do signo. O que deve garantir a inferência sobre a tridimensionalidade do signo gráfico em uso é a relação a uma base normativa. Não é próprio considerar os elementos usados na atribuição estereoquímica como elementos icônicos. Para

⁸⁸ O mesmo tipo de treino deve ser realizado em outros domínios disciplinares, mas em nossos registros encontramos defesas explícitas da necessidade de treino dessa habilidade, consagrados inclusive como atividades propostas para realização em tempo de aula, mas permanentemente indicados como exercícios que devem ser feitos além da sala de aula utilizando-se ferramentas materiais como suporte.

isso o elemento semiótico usado na representação da ligação ‘para frente’ deveria possuir pelo menos uma das qualidades encontradas nesse objeto imediato ‘para frente’, e tem-se que isso definitivamente não ocorre.

A forma de uso que caracteriza esse salto representativo ocorre com contrapartida na percepção do ente químico, em termos de um conjunto de propriedades não deriváveis diretamente pela experiência. Por meio desse salto representativo proposto o sujeito poderá inferir novas propriedades de maneira heurística, criando novas ontologias ao apreender propriedades tridimensionais do ente químico por meio de representações em duas dimensões. Reitera-se a interpretação de que esse salto representativo parece controlado por uma base normativa, ele está posto em uso no processo de ensino e poderá ser encontrado como referência também na literatura. Na Figura 5.1 apresenta-se a ferramenta gráfica usada pelo professor no episódio um.

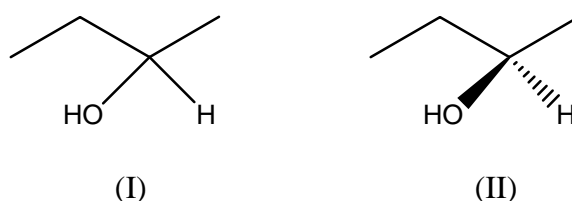
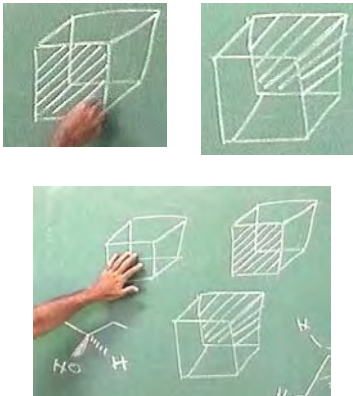


Figura 5.1 Representações estruturais para a molécula de 2-butanol. Em (II) considera-se a estereoquímica dos ligantes da posição 2 da cadeia carbônica.

O uso nesse caso inclui a comparação das duas representações, na qual uma delas assinala o arranjo dos ligantes no espaço (II) e a outra não (I). A representação aqui também ocorre como um processo intencional por meio dessa forma de uso. Diz-se que é intencional em contraposição a assumir-se tal processo como algo natural. Pode ser útil, possível ou necessário representar o arranjo espacial dos ligantes, e a escolha por seu uso comunica uma intenção. A representação escolhida depende da forma de uso pretendida.

Para que se alcance a habilidade espacial de “ver no espaço” o professor propõe em outra seqüência do mesmo episódio uma atividade que exercita a visualização das faces de um cubo em perspectiva (Episódio 01 QGE-22032006-08 – Ver no espaço: seqüência 03).

Quadro 5.4 - Episódio 01 QGE-22032006-08 – Ver no espaço: seqüência 03

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
3	<p>9 (P) desse jeito que ta cá você pode botar duas faces pra frente de um jeito ou de outro.</p> <p>10 (P) Você pode olhar para esse cara e ver isso aqui ó. A face da frente é essa. Certo? Ou...</p> <p>11 (P) A face da frente é essa. Ou o cubo está virado pra cá ou o cubo está virado para cima. Certo?</p> <p>12 (P) Só que tem que eu quero o seguinte: que você olhe para este aqui, sem nada marcado, olhar para ele, colocar essa face na frente e a de trás. E agora você colocar essa face aqui na frente e ver ele ao contrário, num ele ta subindo noutra ele ta descendo, certo?</p> <p>13 (P) Isso é que é ver no espaço.</p>	<p>Volta ao quadro e desenha um cubo destacando uma face virada para frente da turma.</p> <p>Retorna ao quadro e desenha outro cubo hachurando a face oposta a do cubo anterior.</p>	

Na Figura 5.2 as representações (II) e (III) colocam em evidência duas faces opostas do cubo. O que o professor coloca em uso por meio dessas ferramentas é a aquisição da habilidade de visualização espacial, a possibilidade de ver as duas faces opostas a partir da representação (I). O que se quer ter como modo privilegiado de representação por meio dessa habilidade espacial é o movimento discreto atribuído ao câmbio de visualização das duas faces opostas em diferentes instantes de tempo. Desde já se percebe o valor do caráter expressivo como forma simbólica que pode estar contido em um processo de representação. O movimento pretendido no cubo deverá estar em uso em outras atividades exclusivas da representação estrutural. Por meio desse conteúdo o aprendiz deverá realizar movimentos em exercícios da habilidade de visualização.

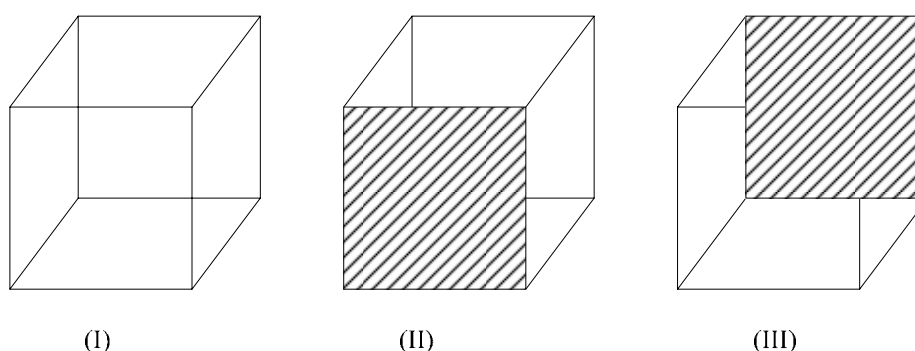


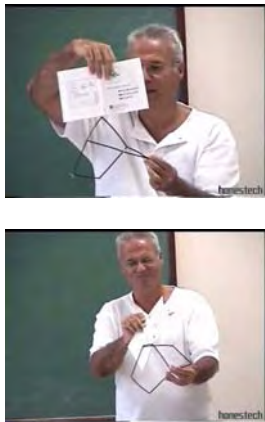
Figura 5.2 Representações de cubos conforme proposta no episódio um

Pode-se também indicar de forma primária a natureza de um processo típico para a forma simbólica expressiva, mas que não está em uso neste episódio. Os cubos acima realizam processos representativos, são típicas representações de representações quando comparados entre si. A aquisição de ver o movimento por meio do cubo representado em (I)

deve consagrar o sucesso do uso de uma ferramenta que contém uma função representativa. Mas tem-se aí um processo representativo no qual permanece a expressão⁸⁹, tal expressão nesse episódio não foi colocada em evidência por meio de uma forma simbólica expressiva, a conquista da imagem discreta do movimento do cubo deve ser adquirida no âmbito de uma função representativa e, diga-se também, por meio de ferramentas gráficas atuando de forma intralingüística. Classifica-se esse uso em forma intralingüística, pois o professor elabora a situação por meio de uma relação isonômica de conteúdo, uso da mesma habilidade espacial – visualização.

Um tipo de conteúdo espacial simbólico associado à habilidade espacial de visualização está colocado, por exemplo, em situações que envolvem a determinação de elementos de simetria em arranjos estruturais. O episódio dez fornece um exemplo desse tipo de situação, provocada por uma atividade que é trabalhada pelo professor com os alunos em tempo de aula. Na seqüência dois deste episódio (Episódio 10 QGE-29032006-02 – Planos de simetria do norbornano: seqüência 2) um aluno propõe uma solução que coloca em debate a visualização da estrutura do norbornano.

Quadro 5.5 – Episódio 10 QGE-29032006-02 – Planos de simetria do norbornano: seqüência 2.

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
2	6 (P) Um aqui, que corta aqui, certo? E outro que corta aqui, cadê os outros dois? 7 (A1) Eu estava considerando se eu mudasse a direção. Na diagonal não corta não? 8 (A2) Na diagonal não ficaria não? 9 (P) Diagonal? Quer fazer um negócio aqui assim. 10 (A2) É. 11 (P) Nesse ponto aqui não tem ninguém do lado de lá. Se eu passar uma diagonal aqui ó... não tem não.	Usa a ferramenta material todo o tempo para sua explicação. Usa folhas de papel como planos, mas também seus braços.	

Os alunos (A1) e (A2) do episódio dez propõem a existência de dois planos de simetria que cortariam a estrutura diagonalmente, passando pelo carbono da ponte, conforme se apresenta nos desenhos 3 e 4 da Figura 5.3.

⁸⁹ Como já havíamos sido alertados por Cassirer em nossa investida teórica: a forma simbólica é representativa, mas a expressão permanece.

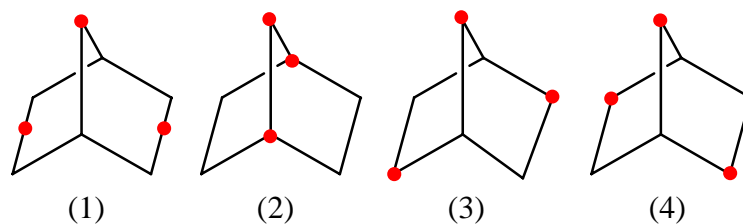


Figura 5.3 Pontos contidos nos planos de simetria para a estrutura do norbornano em debate no episódio dez

Para os alunos (A1) e (A2) o conjunto resposta da atividade deveria conter, além das respostas dadas inicialmente pelo professor, conforme os desenhos 1 e 2 da Figura 5.3, outros dois planos. Pode-se inferir que essa proposição considera uma visualização imprópria da estrutura do norbornano, ao levar em conta que os alunos supunham um tipo de simetria que não ocorre na molécula, conforme apresentado na Figura 5.4.

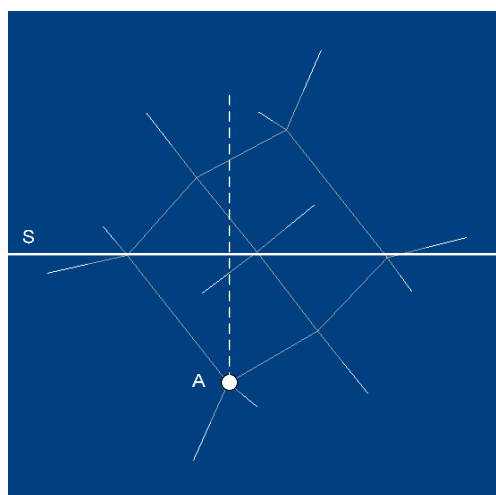


Figura 5.4 Avaliação do plano de simetria proposto pelos alunos no episódio dez

Na Figura 5.4 tem-se uma representação da estrutura do norbornano considerando uma ‘vista superior’. Percebe-se que o plano S , proposto pelos alunos no episódio dez, corta a molécula de tal maneira que uma extensão ortogonal em relação a esse plano partindo do ponto A não passa por outro átomo na estrutura do norbornano, o que caracteriza a ausência desse plano de simetria. Esse tipo de atividade envolve perceber que a estrutura não pode ser concebida sempre em associações com formas geométricas típicas, há certos elementos da estrutura que provocam desvios em relação aos padrões geométricos que são adotados como representantes nas formas gráficas. Nesse caso deve-se perceber que a estrutura do norbornano não pode ser tomada representativamente como um hexágono típico, revelando também que há situações nas quais se encontram conteúdos espaciais simbólicos específicos no ensino da representação estrutural.

O conteúdo da atividade simbólica funciona como uma espécie de solo *imane*⁹⁰ para a comparação de representações. Um procedimento comum nos episódios relacionados à química inorgânica refere-se à comparação de representações estruturais para um determinado conteúdo espacial. O aprendiz deve ser capaz de reconhecer que diferentes formas de representação estão relacionadas a uma mesma topologia. Verifica-se isso ao avaliar comparações entre ferramentas gráficas no episódio 2 (Episódio 02 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e varetas), no episódio 5 (Episódio 05 IQC-05052006-05 – Representações para a estrutura octaédrica) e no episódio 6 (Episódio 06 IQC-05052006-05 – Representações para a estrutura prismática trigonal).

Na Figura 5.5 destacam-se as representações gráficas em uso na primeira seqüência do episódio 2 (Episódio 02 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e varetas: seqüência 1). E nesse caso considera-se que a pertinência da noção de conteúdo da atividade simbólica continua a ser fortalecida.

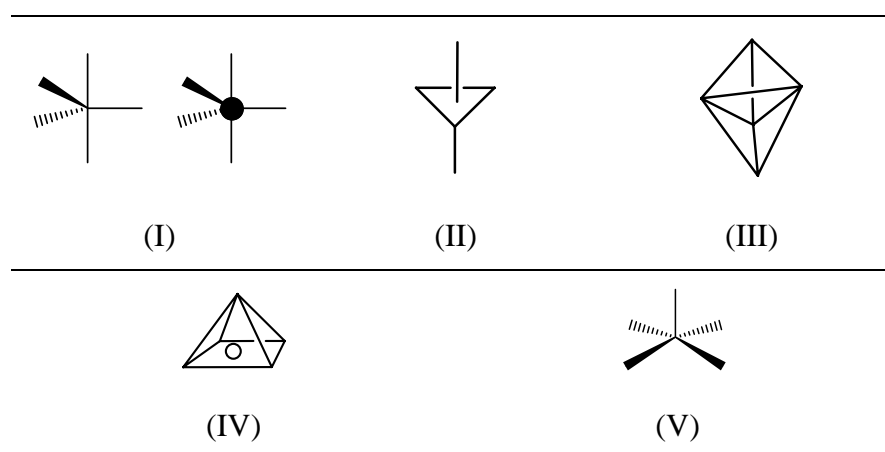


Figura 5.5 Representações em uso no episódio 2 para poliedros de número de coordenação cinco: bipiramidal trigonal (I), (II) e (III), e pirâmide quadrática (IV) e (V).


Observe-se que as representações na Figura 5.3 não correspondem a um ente químico específico, mas a um conjunto de entes possíveis. Não há função referencial a um ente químico nesse processo representativo, o que também está corroborado pela forma de uso encontrada ao longo das seqüências do episódio dois. Aquilo que se qualifica como imanência está nesta seqüência de associações representativas sob o conteúdo da atividade simbólica de visualização de dois poliedros. A tarefa do aprendiz é reconhecê-lo para qualquer das formas representativas empregadas. A forma simbólica é tipicamente representativa e necessita que para sua realização haja desconstrução da imagem do poliedro característico, mas que no ato de reconhecimento deve estar imanente ao sujeito. Desconstruir o representante aqui é um

⁹⁰ No sentido de que cria, determina, transforma sua própria interioridade, mas que permanece no âmbito da experiência possível por meio das formas de uso.

processo semiótico que está relacionado ao movimento entre topologia e estrutura. É movimentar-se no interior do processo de representação, típico de uma forma simbólica representativa.

Diferentes conteúdos da atividade espacial (visualização, rotação e relação) podem estar reunidos em uma única atribuição de uso e operar conjuntamente na aquisição de diferentes formas representativas. Ainda no episódio dois (Episódio 02 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e varetas: seqüência 5), o conteúdo da habilidade espacial serve como condição para que o sujeito diferencie formas para os complexos de número de coordenação cinco.

Quadro 5.6 - Episódio 02 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e varetas: seqüência 5

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
5	<p>14 (P) Então para vocês irem de uma estrutura dessa, para uma estrutura dessa é muito fácil ! Vocês concordam? Basta esses dois ângulos se afastarem.</p> <p>15 (P) Qual é a di... Vocês vêem a questão da representação, se eu coloco isso dessa forma vocês não VÊEM uma correlação automática entre as duas estruturas, mas basta vocês representarem assim desse modo diferente que aqui ó ... alinhando esse eixo aqui ... olha ...</p>	<p>Retorna ao quadro para realizar nova comparação entre a ferramenta material e a ferramenta gráfica para uma mesma simetria (piramidal quadrática). Volta para próximo da turma e alinha as duas ferramentas materiais provocando novamente os alunos para a visualização das semelhanças em relação a um eixo comum das duas representações.</p>	

A forma de uso empregada para os signos nesta seqüência contribui para que seja percebido que, apesar de diferentes formas gráficas de representação, eles são representantes de conjuntos estruturais que podem ser agrupados em uma mesma topologia, e que podem ser transpostos um no outro. Nesta seqüência (Episódio 02 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e varetas: seqüência 5) a forma de uso destacada pelo professor pode ser associada a habilidade de relação espacial, por exemplo, quando apresentasse a possibilidade de perceber uma “correlação automática entre as duas estruturas”, por meio do alinhamento dos eixos, que se destaca na Figura 5.6.

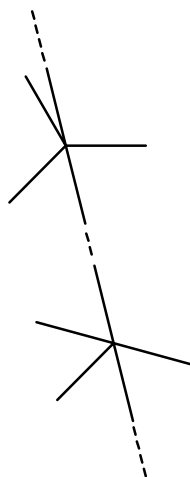
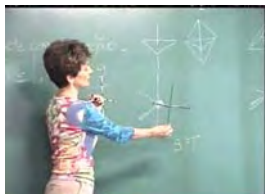



Figura 5.6. Alinhamento proposto no episódio 2 (turno 14) para duas representações de complexos de número de coordenação cinco, por meio de ferramentas materiais.

Durante todo o episódio dois tem-se o uso de uma ferramenta material do tipo bastão em confronto semiótico com ferramentas gráficas. Esse tipo de atividade procura promover ou usa a habilidade de visualização. Nesta seqüência o professor consagra a pertinência do processo de representação e sua dependência em relação ao conteúdo da atividade simbólica, e com relação a isso destaca-se a transcrição do turno 15: “você vêem a questão da representação, se eu coloco isso dessa forma você não vêem uma correlação automática entre as duas estruturas” (Episódio 02 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e varetas: seqüência 5, turno 15).

Neste episódio tem-se também a habilidade de rotação que é enfatizada na seqüência três (Episódio 02 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e varetas: seqüência 3) como uma operação que garante a mesma ontologia para o objeto imediato da representação, no momento que a professora indica que é “a mesma coisa” (turnos 9 e 10).

Quadro 5.7 – Episódio 02 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 ferramentas gráficas e varetas: seqüência 3.

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
3	<p>8 (P) Então gente ... essa é a representação que agente tá vendo aqui no quadro ... né ... agente pode alinhar assim ... isso vem para frente, eu represento assim ... esse ligante tá para trás, igualzinho na química orgânica.</p> <p>9 (P) Aqui ... ôpa ... a mesma coisa ... isso aqui está representado assim.</p> <p>10 (P) Mas, eu podia ter colocado ela assim ó... não podia? É a mesma coisa.</p>	De posse das representações montadas pelos alunos na ferramenta material (varetas), vai até o quadro e inicia comparações entre as duas ferramentas (gráfica e material).	 

A associação de diferentes conteúdos espaciais simbólicos pode ser um processo comum à semiose da representação estrutural. Através da Figura 5.7 coloca-se um detalhamento sobre os conteúdos percebidos no episódio dois em suas diferentes formas de uso.

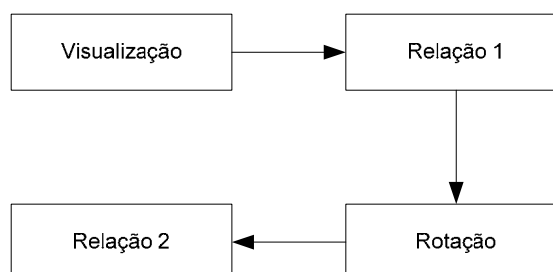


Figura 5.7 Conteúdos da atividade simbólica em uso durante o episódio 2.

Por meio da Figura 5.7 propõe-se haver dois tipos de conteúdo *relação*, a partir das formas de uso encontradas no episódio 2. Na chamada *relação 1* temos um processo de comparação entre duas ferramentas de ordem⁹¹ diferente, uma é ferramenta material (em bastão) e a outra é ferramenta gráfica (escrita no quadro). Na *relação 2* tem-se também um processo de comparação entre duas ferramentas, mas agora de mesma ordem, essas duas ferramentas são materiais e inclusive do mesmo tipo (em bastão). A interpretação dessas formas de uso decorre a possibilidade de postular uma relação conteúdo-ferramenta quanto à ordem das ferramentas envolvidas. Os elementos dessa relação conteúdo/ferramenta são apresentados no Quadro 5.8.

Quadro 5.8 – Características das relações espaciais em uso no episódio dois


	Característica da relação espacial	Ferramentas em uso
Relação espacial 1	Está sendo usado um procedimento de identificação entre duas ferramentas de ordem diferente, pela translação dos elementos da estrutura.	Ferramenta gráfica e Ferramenta material
Relação espacial 2	Está sendo usado um procedimento de identificação entre duas ferramentas de mesma ordem, pelo alinhamento de um elemento das duas estruturas ⁹² .	Ferramenta material e Ferramenta material

⁹¹ Aqui como a relação entre uma pluralidade de elementos. Cada ferramenta pode ter uma única ordem, visto que não temos em uso ferramentas de ordem mista, por exemplo, uma ferramenta que contenha funções gestuais e materiais para o mesmo representante. A ordem de uma ferramenta corresponde também ao critério usado para realizar a classificação desta categoria no mapa de eventos.

⁹² Algumas referências sobre habilidades espaciais tratam esse tipo de procedimento como “mira” (MAIER, 1996; BISHOP, 1980).

Usos de relações entre ferramentas representativas parecem ser formas típicas de promoção da visualização espacial. No episódio seis (Episódio 06 IQC-05052006-05 – Representações para a estrutura prismática trigonal: seqüência 4) temos inclusive o uso do termo atribuído para essa habilidade espacial no turno nove.

Quadro 5.9 – Episódio 06 IQC-05052006-05 – Representações para a estrutura prismática trigonal: seqüência 4

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
4	9 (P) Como é que eu posso relacionar o prisma com o octaedro. O que eu estou fazendo quando faço isso aqui, estou aproximando os ligantes.	Com a ferramenta material na mão, modifica a estrutura originalmente prismática trigonal para uma forma octaédrica, girando um plano da peça.	

A relação espacial aqui é dada pelo uso da mesma ferramenta material. Essa ferramenta (brinquedo magnetix®) possui funcionalidades específicas, de tal modo que pode expressar em si mesma a possibilidade de uma estrutura octaédrica converter-se em uma estrutura prismática trigonal. Parece razoável considerar que a forma simbólica em uso aqui seja diferente daquela no episódio dois. Nesse caso considera-se que há uma forma simbólica expressiva, determinada pela ferramenta representativa em uso. A ferramenta permite que se movimente parte dela para promover rotação semelhante ao que se supõe ocorrer com o ente químico, conforme um exemplo dado na literatura (KERTESZ; HOFFMANN, 1984), conforme a Figura 5.8.




Figura 5.8 – Representações gráficas para a conversão entre a forma prismática trigonal (I) e octaédrica (II)

Na Figura 5.8 tem-se uma representação gráfica para o processo de rotação de 60° das camadas de ligantes na conversão entre forma prismática trigonal (I) e octaédrica (II) de compostos de metais de transição com calcogênios (KERTESZ; HOFFMANN, 1984, p. 3453). Ela informa como a intervenção semiótica proposta pelo professor encontra-se corroborada por uma base normativa.

Ainda neste episódio tem-se em uso outra ferramenta material para representar o mesmo tipo de relação espacial, como se percebe ao avaliar a seqüência 6 (Episódio 06 IQC-05052006-05 – Representações para a estrutura prismática trigonal: seqüência 6).

Quadro 5.10 – Episódio 06 IQC-05052006-05 – Representações para a estrutura prismática trigonal: seqüência 6

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
6	11 (P) Talvez agente veja melhor aqui ó, aqui o octaedro. Se vocês colocam assim é o prisma trigonal, vocês conseguem ver ó, o espaço deixado é muito maior.	Usa uma outra ferramenta material feita de bolas de tênis de mesa para apresentar a forma octaédrica. Roda uma das camadas de bolas de tênis de mesa que compõem a ferramenta material e modifica a estrutura para a forma prismática trigonal.	

Essa aproximação representativa também pode ser verificada por aportes aos mesmos contornos da base normativa na literatura, conforme a Figura 5.9.

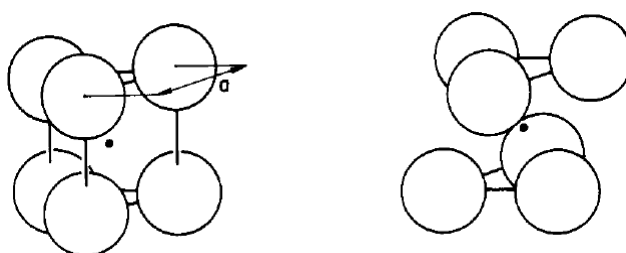


Figura 5.9 Representação para modificação no tamanho da cavidade nas formas prismática trigonal e octaédrica em compostos de metais de transição com calcogênios (KERTESZ e HOFFMANN, 1984, p. 3454).

Ao avaliar nossos episódios percebemos que relações espaciais, sejam entre ferramentas de mesma ordem ou de ordem diferenciada, correspondem a formas de usos privilegiadas em situações de estudo para representações estruturais no Ensino Superior de Química. Tais formas de uso caracterizam-se pela relação entre signos e no sentido pleiteado por nosso quadro metodológico devem ser encaradas como de natureza intralingüística. Uma avaliação ampliada dessa situação deve incluir e colocar em evidência a relação conteúdo-ferramenta para que possamos interpretar a função medial simbólica que age por meio dessas formas de uso.

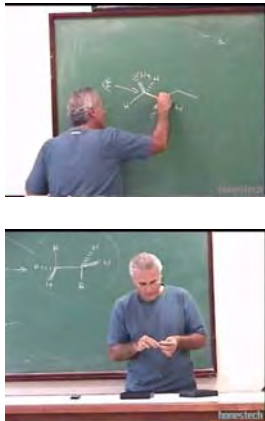
5.2 Diferentes modos de usos de Ferramentas mediais

O uso de ferramentas em modos intralingüísticos está presente nas situações de estudo que tratam da representação estrutural no Ensino Superior de Química. Esses usos são caracterizados tanto por uma relação de identificação entre a representação em meio gráfico e a representação em meio material, quanto pelo funcionamento como uma instância de legitimação para as ferramentas gráficas. As ferramentas materiais nesse caso parecem se

comportar como formas de uso privilegiadas, e atuam como legitimadoras do processo explicativo que é declarado nos enunciados construídos pelo professor no episódio. Esse confronto de relação com a ferramenta material também pode permitir que o aprendiz acomode os elementos do signo representativo que está em estudo na situação. Vamos considerar um episódio que pode nos ajudar a entender tais considerações.

No episódio treze (Episódio 13 QGE-26042006-05 – Olho de Newman: seqüência 1) temos como propósito da ação do professor um exercício de transposição entre duas projeções, partindo-se de uma representação em bastão pede-se que o aluno construa sua correspondente projeção de Newman.

Quadro 5.11 – Episódio 13 QGE-26042006-05 – Olho de Newman: seqüência 1.

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	1 (P) Tá vendo isso aqui. Eu quero que você olhe por aqui, ou seja, nessa direção aqui, e me mostre a projeção de Newman. Certo? Que você olhe este aqui desse jeito e me mostre isso aqui. Vamos façam! Vocês vão fazendo aí eu vou fazendo aqui.	Professor vai até o quadro e propõe uma atividade, fornecendo algum tempo para sua realização. Enquanto aguarda os alunos, o professor monta uma ferramenta material (bastão) com uma representação para a estrutura proposta.	

A atividade é realizada em tempo de aula. Enquanto os alunos trabalham, o professor elabora uma ferramenta material correspondente ao ente químico em questão. Essa atividade supõe a escolha um observador que determina o eixo de ligação que organizará o processo de transposição, uma projeção de Newman é uma representação intencional, condicionada a um observador definido para sua realização. Na Figura 5.10 tem-se a representação em bastão proposta pelo professor no episódio treze e a posição do observador assinalada.

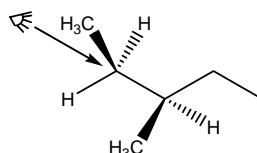


Figura 5.10 Representação estrutural em bastão do 3-metilbutano com observador assinalado conforme episódio 13 seqüência 1

O objetivo da atividade é situar-se como um observador arbitrário e representar as posições relativas dos ligantes do carbono da frente e do carbono de trás que fazem parte da

ligação que está alinhada ao observador. Há diferentes possibilidades de projeções de Newman para a mesma molécula, esse movimento representativo intralingüístico é intencional e pretende colocar em evidência uma situação de estudo idiossincrática.

Os conteúdos da atividade simbólica podem ser usados através de diferentes seqüências do mesmo grupo de habilidades. No primeiro turno deste episódio (Episódio 13 QGE-26042006-05 – Olho de Newman: seqüência 1) o professor oferece um caminho para o uso desses conteúdos, com a indicação de “olhe por aqui” (turno 1). Entende-se que o início da atividade considera um processo de visualização por meio da extensão de localização do observador⁹³ (sujeito da atividade). Um caminho sua execução é visualizar a molécula alinhando-se ao eixo do observador proposto. Nesse caso é possível propor uma seqüência conforme a Figura 5.11.

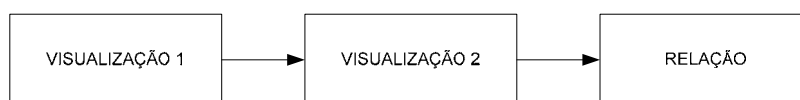


Figura 5.11 Uma seqüência para os conteúdos da atividade simbólica proposta para uso durante o episódio 13.

A *visualização 1* corresponderia a tomada inicial da leitura do signo gráfico, percebendo-se a posição do observador do problema e reconhecendo os ligantes do átomo da frente e de trás. Na *visualização 2* o sujeito faria uma leitura da conformação para os dois carbonos situados na posição do observador proposto pela situação. De posse da conformação espacial, o observador representa cada ligante para as posições correspondentes na projeção de Newman.

Contudo, ao avaliar o episódio percebe-se que as formas de usos intralingüísticas dos signos caminham de maneira diferente em relação à seqüência dos conteúdos. Apresenta-se na Figura 5.12 nossa interpretação dessa seqüência considerando os turnos do episódio treze a partir da seqüência dois (Episódio 13 QGE-26042006-05 – Olho de Newman: seqüência 2).

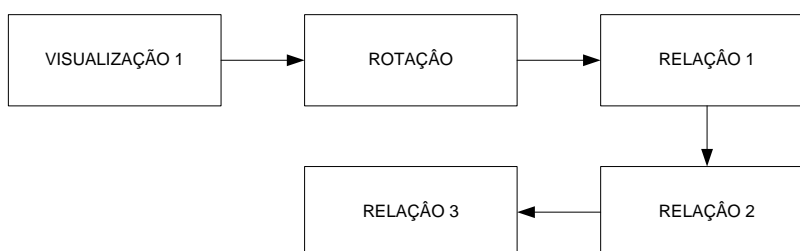


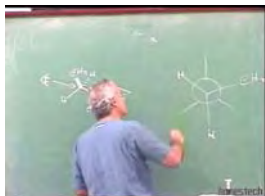
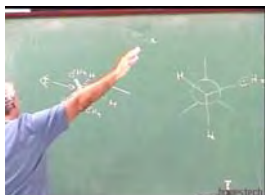
Figura 5.12 Seqüência para os conteúdos da atividade simbólica em uso durante o episódio 13

⁹³ Esse processo seria análogo, em termos de habilidades espaciais, àqueles relacionados à elaboração de vistas e projeções diédricas.

Na solução da situação do episódio treze são usadas diferentes relações espaciais que incluem a habilidade de rotação. As diferentes relações, como conteúdo da atividade simbólica, usam modos intralingüísticos entre duas ferramentas para esclarecer as representações gráficas.

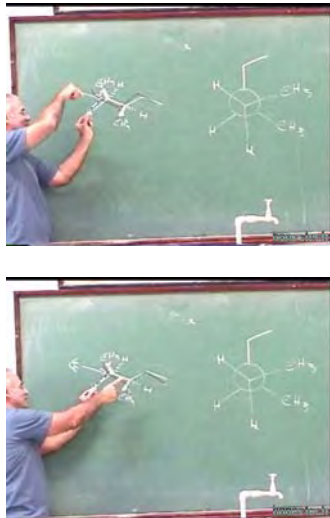
Na seqüência proposta na Figura 5.12 a *visualização 1* é uma habilidade que possui equivalência funcional e de forma àquela que assinalamos também como *visualização 1* na Figura 5.11. Em seguida encontra-se uma rotação, que é celebrada pelo uso de uma ferramenta gestual. O professor se coloca inicialmente na posição do observador original do problema e usa seus braços como elementos de constituição de uma ferramenta gestual que encerram a conformação dos ligantes. Em seguida a ferramenta gestual executa um giro de 90° anti-horário em relação ao eixo norte-sul e relaciona-se com a projeção de Newman, identificando a conformação dos ligantes (Episódio 13 QGE-26042006-05 – Olho de Newman: seqüência 2).

Quadro 5.12 – Episódio 13 (QGE-26042006-05) – Olho de Newman: seqüência 2

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
2	2 (P) Pronto? Olha só, este aqui é o da frente, certo? Onde está o CH ₃ ?	Após algum tempo o professor inicia a solução, usando os braços para representar as posições dos ligantes e auxiliando os alunos durante a solução.	
3	3 (As) Direita.		
4	4 (P) Então sobrou isso, sobrou isso, certo? Meu CH ₃ está aqui... como eu estou olhando olha ele aqui (usa ferramenta gestual). Certo? E agora... isso aqui está aonde?		
5	5 (As) Em cima.		
6	6 (P) E agora? CH ₃ tá aonde?		
7	7 (As) Várias respostas, há divergências.		


A solução do problema está dada nesse momento (turno 4), contudo seguem-se ainda duas relações em uso intralingüístico. Na *relação 2* o professor identifica os elementos de configuração entre a ferramenta material que havia construído durante o tempo de execução proposto aos alunos e a ferramenta gráfica representada no quadro (Episódio 13 QGE-26042006-05 – Olho de Newman: seqüência 3).

Quadro 5.13 – Episódio 13 (QGE-26042006-05) – Olho de Newman: seqüência 3.

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
3	<p>8 (A1) Professor!</p> <p>9 (P) Presente!</p> <p>10 (A1) Tem que fazer a etila assim?</p> <p>11 (P) Pode fazer do jeito que quiser.</p> <p>12 (A2) O meu CH₃ ficou diferente.</p> <p>13 (P) Calma, vamos ver aqui (referindo-se a ferramenta material na sua mão). Esta molécula está assim, certo?</p> <p>14 (As) Certo!</p> <p>15 (P) CH₃ para frente, hidrogênio no plano, ligação no plano, hidrogênio para trás, certo? CH₃ para frente, hidrogênio para trás, o resto do rabo para lá. Ta?</p>	<p>Professor pega o modelo material que havia preparado e coloca na frente da representação gráfica no quadro, conferindo todos os constituintes, bem como suas posições em relação ao observador da representação, que no caso da ferramenta material é ele mesmo.</p>	

Na *relação 3* o professor coloca a ferramenta material ao lado da resposta obtida e verifica a relação entre os elementos de configuração da ferramenta material e da projeção (Episódio 13 QGE-26042006-05 – Olho de Newman: seqüência 4).

Quadro 5.14 – Episódio 13 (QGE-26042006-05) – Olho de Newman: seqüência 4

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
4	<p>16 (P) Vamos olhar aqui. Quando nós olhamos daqui o que dá: CH₃ pra lá, hidrogênio pra cá, hidrogênio pra baixo, pra cima a etila, pra cá o CH₃ e pra cá o hidrogênio. Certo? Você tem que pegar isto aqui e olhar daqui. Tem que olhar daqui, aí você pega isto e roda e vê direitinho.</p>	<p>O Professor coloca a ferramenta material ao lado da resposta ao problema da atividade e compara os elementos de configuração em cada uma delas.</p>	

A tarefa poderia ser reduzida a um único processo de relação que forneceria uma relação intralingüística ampliada como conteúdo da atividade simbólica, usando uma base normativa ampliada no processo de transposição entre os dois signos. Esse estado de relação único pode ser verificado na Figura 5.13.

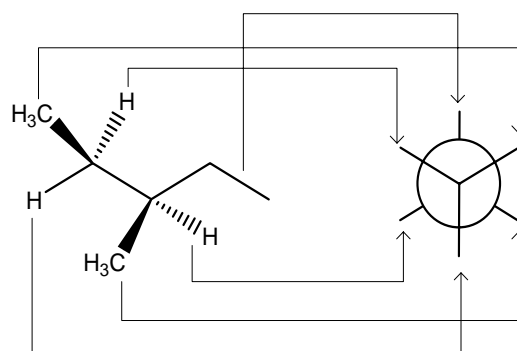


Figura 5.13 Relação entre as posições dos ligantes nas duas ferramentas gráficas envolvidas no episódio 13.

Contudo, esse tipo de relação não é encontrado no episódio treze e não pode ser depreendido da leitura de outros eventos em nossos mapas que tratam do mesmo conteúdo didático. Em contraste, considera-se essa intervenção importante para marcar uma possível fronteira entre formas de uso em contextos intralingüísticos e descontextualizados.

As relações intralingüísticas entre ferramentas materiais e ferramentas gráficas por meio de formas simbólicas representativas ocorrem com certa frequência em nossos episódios. No Quadro 5.15 verifica-se o uso do conteúdo de relação espacial em ferramentas que operam de forma intralingüística nos episódios selecionados.

Quadro 5.15 – Associações entre ferramentas mediais simbólicas em uso intralingüístico contendo relação espacial

Episódios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Gráfica/gráfica	•						•	•	•		•	•	•
Gráfica/material	•	•	•	•	•	•	•	•		•			•
Gráfica/gestual											•	•	•
Material/material		•	•	•	•	•	•	•		•			


Do conjunto de possibilidades instalado a partir das combinações entre diferentes meios mediais simbólicos operando de forma intralingüística, percebe-se que a maior frequência ocorre entre ferramentas gráficas e ferramentas materiais (10/13). Isso nos indica uma preferência para o sentido atribuído às formas de uso dessas ferramentas mediais, que poderia ser o esclarecimento daquilo que se representa graficamente. De alguma maneira, ferramentas materiais são colocadas em uso para validar, conferir e ajudar a apreensão de natureza representativa de ferramentas gráficas. Todos os esforços convergem para o esclarecimento das ferramentas gráficas.

Formas de uso em contextos intralingüísticos caracterizam-se por criarem seus próprios contextos. Segundo nossos aportes ao referencial de Vigotski, pode parecer ao leitor estranho considerar a intensidade de processos que demandam contextos exclusivos para sua realização no intuito de conquistar significado para o processo de representação estrutural. A tendência esperada para tal processo é de um crescente movimento em direção à descontextualização para que se tornem aquilo que Vigotski considera um conceito legítimo. Mesmo assim, as formas de uso encontradas em nossos episódios indicam relações signo-signo que se mantêm pelo recurso a novos contextos exclusivos e indicam a necessidade de uma nova ferramenta, que parece agir como instância legitimadora extralingüística dessa mediação semiótica.

Mesmo assim não se aposta em uma relação extralingüística nesses casos, esses novos contextos usam novas relações signo-signo com formas de uso intralingüísticas, propõe-se inclusive a prioridade de redes de relações intralingüísticas. Tais redes podem estar agindo como um processo de organização no representante das características que são fornecidas ao ente por meio da base normativa. Parece razoável admitir verossimilhança quanto a essa forma de uso projetar-se na direção de um estado topológico do ente químico que está sendo representado. Isso pode ser devido ao entendimento, desde o início do propósito da ação e por adequação à base normativa, das características ontológicas do ente químico quisto como referência última, e inatingível, daquilo que trata o contexto em uso. Esse estado inatingível do ente impede a assunção de um modo extralingüístico, mas não há motivos para recusar a idéia de um sistema de relações intralingüísticas em jogo por meio de diferentes ferramentas mediais simbólicas no processo de mediação semiótica para o ensino de representação estrutural em cursos superiores. Pode-se considerar que a soma de diferentes processos semióticos quanto ao uso de ferramentas em contextos intralingüísticos fornecem autonomia ao sujeito para a aquisição de formas descontextualizadas.


Um exemplo de requerimento de forma descontextualizada é apresentado pela professora na seqüência sete do episódio sete (Episódio 07 IQC-05052006-10 – Isomeria CIS TRANS em complexos octaédricos: seqüência 7).

Quadro 5.16 – Episódio 07 IQC-05052006-10 – Isomeria CIS TRANS em complexos octaédricos: seqüência 7

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
7	<p><u>11</u> (P) Isso é importante porque na hora que vocês vão representar, aí eu dou uma molécula e peço assim: representem todos os isômeros. Surgem quinhentos milhões de isômeros o pessoal coloca as moléculas...</p> <p><u>12</u> (P) Isso é igual a isso que é igual a isso que é igual a isso, concordam? Ta bom.</p>	Usa a ferramenta material de varetas para mostrar a relação de identidade entre os objetos, modificando sua posição no espaço.	

No turno onze dessa seqüência a professora informa sobre uma forma de uso que se considera descontextualizada e que deve ser aplicada pelos alunos ao resolver situações de representação de “todos os isômeros”. Nesse caso deve-se superar qualquer escolha espaço-temporal do signo para admitir que o representante posto diante do sujeito possui um alcance ontológico ampliado, o que nos parece característico de uma forma de uso descontextualizada. Isso pode ser conseguido também pela admissão que não se trata mais de representar moléculas ou objetos moleculares, mas uma estrutura. Uma indicação para entender essa descontextualização no sentido de que se deve priorizar a representação de estruturas é fornecida na seqüência anterior deste episódio (Episódio 07 IQC-05052006-10 – Isomeria CIS TRANS em complexos octaédricos: seqüência 6).

Quadro 5.17 – Episódio 07 IQC-05052006-10 – Isomeria CIS TRANS em complexos octaédricos: seqüência 6

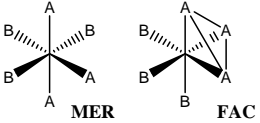
S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
6	<u>10</u> (P) Ou vocês tem os dois ligantes vizinhos de noventa graus, ou vocês tem os dois ligantes afastados de 180 graus, e aí tanto faz vocês olharem assim, assim, assim, vocês concordam comigo?	Usa a ferramenta material de varetas segurando as varetas correspondentes aos ligantes cloro para assinalar os ângulos (90 ou 180 graus) entre eles, nos casos cis e trans.	

No turno dez da seqüência seis deste episódio temos uma tentativa de descontextualização para a representação de isômeros CIS ou TRANS em complexos octaédricos, que é oferecida por meio de um critério geral de reconhecimento dessa propriedade, a saber: tipo de afastamento entre dois ligantes para complexos na forma MA_4B_2 . O enunciado da professora “ou vocês têm os dois ligantes afastados de 180 graus e aí tanto faz...” (Episódio 07 (IQC-05052006-10) – Isomeria CIS TRANS em complexos octaédricos: seqüência 6 – turno 10) propõe um movimento de descontextualização para um estado de coisas no mundo: isomeria TRANS em compostos de coordenação com essa constituição. Essa forma descontextualizada significa qualquer composto de coordenação octaédrico

TRANS com constituição MA_4B_2 . Ela não significa uma molécula, mas com certeza significa uma estrutura, que deve ser reconhecida em outras situações de estudo e colocada em uso por meio da requisição dessa forma descontextualizada.

Novas formas de uso descontextualizadas podem ser elaboradas a partir de relações intralingüísticas que também fazem uso de outras formas descontextualizadas, configurando-se cadeias de relações representativas bastante elaboradas. No episódio oito temos um exemplo desse tipo de situação para promover esclarecimento quanto à isomeria FAC e MER em compostos de coordenação com constituição MA_3B_3 (Episódio 08 IQC-05052006-11 – Isomeria FAC MER em complexos octaédricos MA_3B_3 : seqüência 2).

Quadro 5.18 – Episódio 08 IQC-05052006-11 – Isomeria FAC e MER complexos octaédricos MA_3B_3 : seqüência 2

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
2	4 (P) E aqui? Os três ligantes A são cis, um em relação ao outro... nesse caso. Eles estão na face triangular do octaedro.	Continua no quadro desenhando uma outra situação também em um octaedro da forma MA_3B_3 , agora propondo uma situação de isomeria FAC	

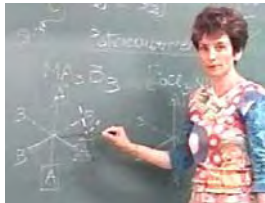


No turno quatro desse episódio inicia-se um processo de generalização com relação a novas formas de isomeria que podem advir de uma constituição do tipo MA_3B_3 . Essas formas de isomeria relacionam-se (i) à disposição de três ligantes como um meridiano (MER), um plano de ligantes que corta longitudinalmente a forma octaédrica; ou (ii) à disposição desses ligantes como uma face (FAC) do octaedro característico. Apesar dessas relações nominalistas, o processo que é proposto pela professora envolve a vinculação das formas isoméricas FAC e MER às formas CIS e TRANS, e nesse sentido propõe-se que esse tipo de associação envolva o uso de cadeias representativas que operam por meio de formas intralingüísticas, pois estão configuradas nesse processo relações entre ferramentas materiais e gráficas para construção do significado FAC e MER, juntamente com aportes a formas descontextualizadas estabilizadas anteriormente⁹⁴.

Ainda que se possa supor que o uso de modos descontextualizados constitua um terreno seguro para a produção de significados, tem-se neste episódio outro exemplo do requerimento de formas intralingüísticas no transcurso de tal processo. Novamente, ferramentas materiais se tornam formas privilegiadas para marcar o caminho na direção da descontextualização, realizando processos intralingüísticos com ferramentas gráficas e

⁹⁴ Perceba-se que os episódios 08 e 07, analisado no parágrafo anterior, são consecutivos na aula em questão. Isso pode ser conferido no mapa de eventos a partir do código de cada episódio.

colocando ao sujeito o conteúdo espacial simbólico que deve conquistado (Episódio 08 (IQC-05052006-11) – Isomeria FAC MER em complexos octaédricos MA_3B_3 : seqüência 5).

Quadro 5.19 – Episódio 08 IQC-05052006-11 – Isomeria FAC e MER em complexos octaédricos MA_3B_3 : seqüências 5 e 6

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
5	12 (P) Ai a diferença. Posso representar assim também. Posso representar assim também.	Contrapõe a ferramenta material com a representação gráfica no quadro, mostrando diferentes possibilidades de representação em relação às posições dos ligantes, mas que levam ao mesmo objeto.	
6	13 (P) Então vocês podem ver que eles têm, os ligantes B e os ligantes A, têm a mesma disposição trans, cis com relação a isso. E aqui a mesma coisa, esses ligantes são trans com relação a todos os Bs, os As são trans com relação a todos os Bs.	Usa o modelo material para explicar a disposição dos ligantes nos casos da isomeria MER e retorna ao quadro para usar a representação gráfica para explicar a isomeria MER.	 

No fechamento desse episódio (Episódio 08 (IQC-05052006-11) – Isomeria FAC MER em complexos octaédricos MA_3B_3 : seqüência 6 – turno 13) percebe-se algo que sugere descontextualização para ‘estruturas MER’: “esses ligantes são TRANS com relação a todos os Bs, os As são TRANS com relação a todos os Bs”. Nesse momento encontra-se um exemplo de movimento na direção da representar-se o objeto imediato por meio da descontextualização, considerando o uso de outras formas descontextualizadas. O conceito de isomeria MER nesse episódio depende em grande medida do conceito de isomeria TRANS produzido no episódio anterior (Episódio 07 (IQC-05052006-10) – Isomeria CIS TRANS em complexos octaédricos). Tais formas de uso possuem em comum permitir o reconhecimento de uma estrutura como uma regularidade que pode ser aplicada a diferentes compostos de coordenação.

O esforço para distinguir entre ferramentas em uso intralingüístico e descontextualizado permite propor uma maneira complementar de encarar a ação desses signos. Modos intralingüísticos encontram correlação com o que Cassirer pretende com as Formas Simbólicas Representativas, são seleções temporais exclusivas. Na seção seguinte mostra-se como o referencial das Formas Simbólicas pode ser incorporado à avaliação de ferramentas para esta investigação.

5.3 Formas simbólicas

Esta sessão inicia com uma introspecção teórica para esclarecer a relação entre representação e tempo. As seqüências de registro anteriores forneceram relações que configuram o espaço e habilidades para sua apreensão, como conteúdo da atividade simbólica nos processos de representação estrutural. Expõe-se agora a influência da temporalidade na representação estrutural. Completa-se aqui o esclarecimento sobre o processo representativo que logra execução nos episódios em estudo. Reconsidera-se o problema de investigação, adicionando às proposições metodológicas exemplos que incluem Formas Simbólicas nos termos oferecidos por Cassirer.

O ente químico possui características dinâmicas, compreendendo movimento, rearranjo e outras modificações com diferentes implicações para sua identidade. Esse estado dinâmico é o que permite ao ente acontecer. Toda conexão, toda relação entre coisas remonta a um acontecer temporal e a representação também escolhe um tempo para a realização de suas intenções. Quando escolhemos uma representação escolhemos um tempo de realização do ente, e tais determinações temporais são conduzidas por regras. Nossas escolhas sobre o tempo da representação devem ser condizentes com a base normativa que controla a Forma Simbólica.

O simbólico alcança o existente por meio de modos de conexão temporal. O presente, o agora, recebe esse caráter por meio da representação. Pode-se perguntar se uma sucessão de representações significa o mesmo que a representação de uma sucessão. A resposta de Cassirer é não. Uma sucessão de representações pode ser tomada como ocorrência de forma simbólica representativa em uso intralinguístico, pois as representações estariam se comunicando por meio de domínios comuns na base normativa que atendem à essa sucessão. As representações de uma sucessão compartilham questões epistemológicas e refletem também a escolha por um seqüenciamento temporal discreto. A representação de uma sucessão é um processo diferente, ela envolve uma aproximação ontológica distinta. Trata-se de situar o estado dinâmico de um ente e proporcionar-lhe representação por meio de um contínuo temporal. Segundo Cassirer, podemos ter esse modo representativo tanto por meio de formas simbólicas expressivas, quanto por meio de formas simbólicas significativas.

O caminho em direção a formas simbólicas significativas envolve uma espécie de superação do tempo, a qualquer tempo um conjunto de regularidades representativas deve ser tomado como propriedade daquilo que se quer representar. O estágio intermediário desse caminho é a escolha temporal de uma forma simbólica representativa, ou de um sistema delas.

Mas o que permanece antes? As respostas dadas por nossas escolhas metodológicas apontam para a expressão, para uma forma simbólica expressiva.

O uso característico de uma ferramenta medial simbólica por meio de uma forma expressiva pode permitir uma espécie de transmutação, todos os atributos selecionados para representação tentam ser transladados para a ferramenta. Entretanto deve-se resistir à tentação de suprimir a mediação como forma de uso no processo de representação, pois mesmo em uma forma simbólica expressiva o uso é mediato, e permanece também sua relação com uma base normativa. Trata-se a seguir das relações entre ferramentas em uso e suas formas simbólicas. Consideramos assim completar nosso circuito em torno da função representativa que pretendemos promover por meio desta discussão.

5.3.1 O uso de formas simbólicas expressivas


Segundo Cassirer, “a primeira forma pela qual um sujeito apreende seu meio circundante consiste na percepção desse mundo como uma multiplicidade de vivências expressivas” (Cassirer, 1929, p. 521). Contudo, nossa opção por uma apresentação das formas simbólicas que constituem a função representativa das atividades do ensino superior de química na seqüência: expressiva, representativa e significativa, não quer dizer que estejamos defendendo nesta discussão uma relação de precedência para tais funções nesse mesmo sentido como condição de possibilidade de seu uso. Lembramos que o mesmo Cassirer defende “relações cambiantes e permanentes para as formas simbólicas em uso num processo representativo” (Cassirer, 1929, p. 521). É precisamente neste sentido que desejamos discutir nossos episódios. Em uma seqüência de ensino o uso e a relação das formas simbólicas podem se constituir em um ir e vir mais propriamente do que em um devir.

Ao atribuir formas expressivas às ferramentas mediais simbólicas em uso nos nossos episódios percebe-se que não há univocidade. Mesmo diante de usos caracteristicamente expressivos, as formas simbólicas que reclamam a ação para sua realização não podem ser conformadas em uma mesma classe, ou modo de produção. Contudo, há diferenciação possível para os modos de produção que encontramos em nossos episódios.

No episódio quatro (Episódio 04 IQC-05052006-04 – Pseudo-rotação de Berry: seqüência 1) encontra-se uma produção simbólica em forma expressiva a partir de uma ferramenta material. O propósito da ação nesse episódio é o esclarecimento da pseudo-rotação


de Berry em complexos com número de coordenação cinco, verificar como as topologias piramidal quadrática e bipiramidal trigonal podem estar envolvidas em um processo de câmbio dinâmico que é associado ao teorema de Berry⁹⁵.

Quadro 5.20 – Episódio 04 IQC-05052006-04 – Pseudorotação de Berry: seqüência 1

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) Então o que acontece, essa estrutura está sempre fazendo assim ó...</p> <p>2 (P) Então ó, o que agente tem aqui, vocês podem imaginar uma interação com uma distância pequena de ligação entre essa duas, esses dois átomos, isso aqui pode se abrir e depois a ligação pode se fazer entre esses dois que dão uma bipirâmide trigonal.</p>	Movimenta a ferramenta material e mostra a oscilação entre as duas formas estruturais, abrindo e fechando a ferramenta. Por meio desse uso procura representar a conversão de uma pirâmide de base quadrática em bipirâmide trigonal.	

A possibilidade de a ferramenta material ser associada a uma forma simbólica expressiva é consagrada por funcionalidades intrínsecas, e a professora coloca-as em uso a favor da explicação que pretende realizar na seqüência seguinte (Episódio 04 IQC-05052006-04 – Pseudo-rotação de Berry: seqüência 2).

Quadro 5.21 – Episódio 04 IQC-05052006-04 – Pseudorotação de Berry: seqüência 2

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
2	<p>3 (P) Se isso acontecer o tempo todo vocês tem o rearranjo das carbonilas ali, os ligantes CO, e vocês não conseguem à temperatura ambiente ver os dois tipos de carbonila que são as duas carbonilas axiais e as três carbonilas equatoriais que deveriam ser diferentes né.</p>	Usa a ferramenta material para indicar as carbonilas axiais e equatoriais pelo modo como segura a ferramenta, usando o polegar e o indicador.	

Na Figura 5.14 apresenta-se uma seqüência de representações gráficas para a explicação elaborada pela professora.

⁹⁵ Considerado na introdução deste trabalho de tese

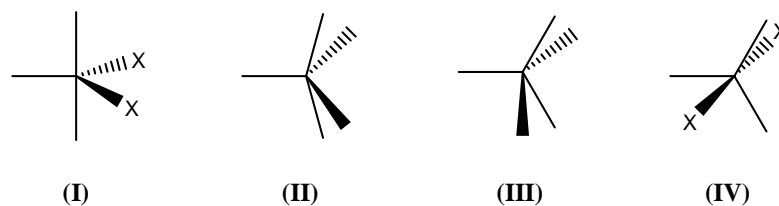


Figura 5.14 Pseudorotação de Berry

Note-se na Figura 5.14 que os ligantes X que estavam na posição equatorial em (I) passam para a posição axial em (IV) constituindo uma espécie de rotação, a pseudo-rotação. Este é um processo que associa a conversão de duas topologias, pois entre (II) e (III) temos uma topologia intermediária piramidal quadrática. A forma simbólica da ferramenta material em uso no episódio quatro pode ser qualificada como expressiva, pois guarda confluência com o que Cassirer nos propõe para a ação do signo quando buscamos nos aprofundar nas múltiplas formas assumidas pelo ente ao longo de um domínio temporal. Por outro lado, os desenhos que são encontrados na Figura 5.14 tentam representar a mesma coisa por meio de formas simbólicas representativas⁹⁶. Na medida em que a ferramenta consegue manter com seu objeto imediato uma correlação temporal contínua multivalorada caracteriza-se uma forma simbólica expressiva de representação.

A realização de formas simbólicas expressivas depende bastante das características da ferramenta em uso. Supõe-se que deva haver um compromisso ontológico entre representação e o ente a ser representado que caracterize uma semiose oportuna ao uso de uma forma simbólica expressiva. Atribui-se ao processo de pseudo-rotação uma semiose que favorece o uso de uma expressão, pois nesse caso percebe-se certa relação entre a ordem semiótica e a ontologia daquilo que se quer representar. Novamente essa representação é uma escolha intencional, pois interessa ao ensino esclarecer esse movimento de pseudo-rotação. Contudo, não há intenção (nem possibilidade) de representarem-se os movimentos de estiramento e de torção das ligações sigma do ente envolvido, ou seja, há escolhas, mas também há limitações para a semiose. No caso da Pseudo-rotação de Berry temos uma exigência semiótica, quase tautológica⁹⁷, pois a semiose se constitui no movimento de pseudo-rotação per si.


Todavia, percebe-se nos episódios que compromissos ontológicos não são os únicos caminhos para favorecer o uso de uma forma simbólica expressiva. Na seqüência sete do episódio onze (Episódio 11 QGE-10052006-02 – Função da base normativa – isomeria CIS TRANS: seqüência 7) o professor coloca em uso uma ferramenta gestual também como uma

⁹⁶ Foram destacados quatro momentos, quatro instantes de tempo julgados próprios para a representação da pseudo-rotação.

⁹⁷ Proposição declarativa que é verdadeira para todas as atribuições de valores das variáveis que nela ocorrem.

forma simbólica expressiva. Nesse caso o professor usa seu corpo para representar uma ‘densidade p’ na tentativa de esclarecer dúvidas que se mantém desde o início do episódio a respeito dos ligantes de um carbono com hibridação sp^2 serem representados para lados opostos de uma ligação dupla. O uso da ferramenta gestual em forma simbólica expressiva tem início na seqüência seis do mesmo episódio (Episódio 11 QGE-10052006-02 – Função da base normativa – isomeria CIS TRANS: seqüência 6), contudo, na seqüência seis, o professor encontra-se em uma posição na sala que considera desfavorável para a realização de sua forma simbólica expressiva, e movimenta-se para frente do aluno que pretende atingir com sua representação.

Quadro 5.22 – Episódio 11 QGE-10052006-02 – Função da base normativa isomeria CIS TRANS: seqüência 7

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
7	<p>35 (P) To aqui certo, aqui eu sou...</p> <p>36 (A1) P.</p> <p>37 (P) Vou fechar aqui (as pernas) para não pensar que são dois. Assim, certo? Se eu deitar aqui, certo, a ligação ficou deitada e os dois estão nesse plano aqui, então roda aqui, ó, olha aqui, eu vou cair. Não tem, porque estou olhando em um plano só: isto, isto, isto, isto, isto e isto estão no mesmo plano. Aqui ó, isso, isso, isso e isso estão no mesmo plano. Não posso mudar de posição, tem que ter 120° ali.</p>	<p>Inicia um processo de representação com ferramenta gestual, no qual ele mesmo (professor) representa a “densidade p”. Faz gestos com os braços para conseguir a explicação e faz inclinação do seu corpo para indicar a posição da ligação dupla.</p> <p>Retorna para a representação gráfica, para assinalar os entes que estão no mesmo plano. Confronta uma representação gráfica com outra no quadro.</p>	

Na ferramenta gestual atribuída pelo professor, seu tronco corresponde à densidade p que mantém os ligantes para lados opostos da ligação dupla, ele deita o tronco e mantém os braços abertos para expressar essa relação espacial, mas também para expressar que os ligantes estão no mesmo plano da ligação. Podemos dizer também que nessa seqüência temos ferramentas diferentes (gestual e gráfica) em uso intralingüístico, pois o professor retorna para o quadro a fim de relacionar aquilo que pretendia expressar por meio da ferramenta gestual com a ferramenta gráfica no quadro, procurando fortalecer sua explicação.

Nesse caso o uso da ferramenta gestual por forma simbólica expressiva não é restrito pela otologia do objeto a ser representado. A expressividade construída pelo movimento do

professor, sua ação gestual, não se relaciona ontologicamente com o ente a ser representado, conforme destacado na Figura 5.15.

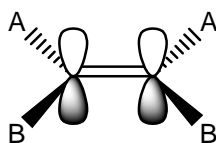


Figura 5.15 Representação estrutural para carbonos em ligação dupla – hibridação sp^2 .

De acordo com a explicação fornecida pelo professor os ligantes A e B na representação estrutural da Figura 5.15 compõem um mesmo plano espacial. Nesse episódio percebe-se que a aluna (A1), que inicia o episódio, está insegura quanto ao caráter intencional de uma representação estrutural. Nesse momento podemos compreender melhor como a base normativa influencia o uso de uma forma simbólica.

A situação colocada em debate no episódio onze (Episódio 11 QGE-10052006-02 – Função da base normativa – isomeria CIS TRANS: seqüência 2) trata da dificuldade da aluna (A1) com relação à posição dos átomos de hidrogênio na representação estrutural que é apresentada em uma atividade sobre isomeria CIS TRANS, conforme a Figura 5.16.

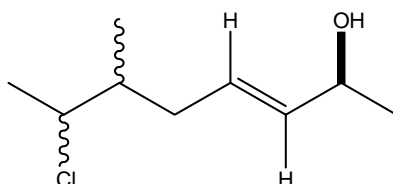
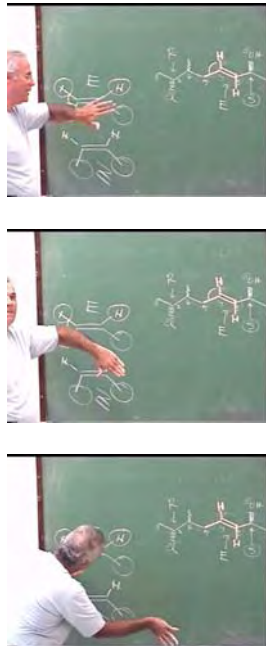


Figura 5.16 Representação estrutural gráfica em uso na atividade do episódio onze.

A ferramenta gráfica em uso pelo professor seleciona o isômero E em relação à dupla ligação, conforme a Figura 5.16. Esta foi sua intenção ao usar a ferramenta gráfica: selecionar o isômero E. Para que os alunos consigam se aproximar da explicação tentada pelo professor deve-se recorrer à base normativa que está relacionada a essa forma simbólica. Devido a não correspondência de verdade à base normativa, não é possível que os ligantes de um carbono com hibridação sp^2 sejam representados, nos termos usados pela aluna (A1) no discurso da seqüência três do episódio onze (Episódio 11 QGE-10052006-02 – Função da base normativa – isomeria CIS TRANS: seqüência 3), “para o mesmo lado” (turno 14). Esse conflito pode ser esclarecido à luz da base normativa.

Quadro 5.23 – Episódio 11 QGE-10052006-02 – Função da base normativa isomeria CIS TRANS: seqüência 3.

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
3	<p>14 (A1) Não estou vendo porque não pode ser assim os dois para o mesmo lado.</p> <p>15 (P) Porque aí seria outra molécula. Aqui ó, aqui está um para cima e outro para baixo. Esse aqui ta assim, aquele ali... visto assim. O ângulo é o mesmo aqui, ó, ó. Só porque um ta assim o outro assim. Ta para cima e para baixo, se eu fizer assim ó, certo? Ta?</p>	<p>Usa ferramenta gestual para explicar a dúvida que permanece. Destaca por meio de gestos o deslocamento do ângulo da representação gráfica.</p>	

Há nessa seqüência uma ferramenta gráfica em uso intralingüístico com a ferramenta gestual: corpo e mãos na representação da posição dos ligantes em relação à ligação dupla. Mesmo assim, o conflito no episódio se estende para a seqüência seguinte (Episódio 11 QGE-10052006-02 – Função da base normativa – isomeria CIS TRANS: seqüência 3) com intervenções de alunos com dificuldades de natureza ontológica. Nesse caso a questão seria entender que uma ferramenta gráfica que representasse os ligantes de carbonos vicinais “para o mesmo lado” teria como objeto imediato outro ente químico, seu isômero. Na Figura 5.17 apresentam-se ferramentas gráficas envolvidas neste episódio.

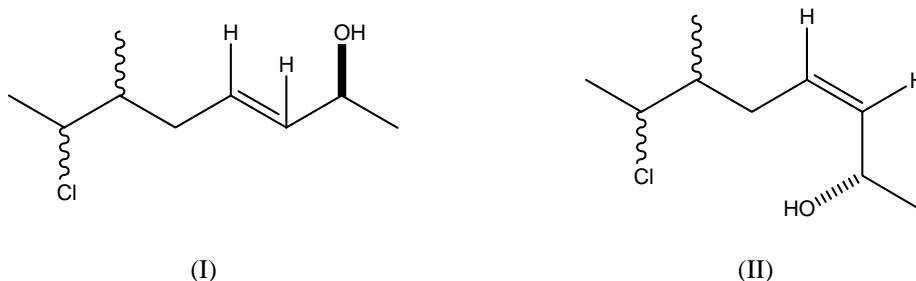


Figura 5.17 Representações estruturais para as propostas dos alunos no episódio onze

A Figura 5.17 (I) fornece uma representação imprópria por correlação de verdade à base normativa, conforme julgamos ter sido proposta pela aluna (A1) na seqüência três do

episódio onze. E na Figura 5.17 (II) tem-se a representação gráfica do isômero Z que não teria sido utilizado na avaliação dos alunos para orientar o debate em curso na seqüência quatro do episódio onze. O esclarecimento da situação encontrada no episódio onze avança nas seqüências seguintes, mas revela-se uma solução por meio do uso de ferramentas gráficas em formas simbólicas representativas, que se propõe continuar esclarecendo na seção seguinte.

5.3.2 O uso de formas simbólicas representativas

Para Ernst Cassirer as Formas Simbólicas representativas desempenham uma atividade central na experiência humana. A partir da função primária de percepção trazida pela vivência expressiva podem ser conseguidas formas ricas para o alcance de objetos e de estados das coisas do mundo (CASSIRER, 1998, p. 131). Esse prosseguimento na conquista da totalidade dos objetos nos remete ao que ele considera como forma simbólica representativa. O uso de uma forma simbólica expressiva dá mostras de ter a pretensão de sujeitar o movimento a determinado foco de intenções em um processo semiótico, ainda constituindo uma unidade. Mas como as imagens proporcionadas por processos expressivos são decorrentes da mobilidade de um foro intrínseco do ente que se pretende expor por semiose, corre-se o perigo de serem arrastadas de volta para esse fluxo, desprovendo o sujeito de uma identificação mais clara dos componentes desse ente (CASSIRER, 1998, p. 132).




Nas palavras de Cassirer, uma forma simbólica representativa acontece quando a imagem cresce além de si mesma. Esta forma encerra elementos de composição distintos, mas não quer ser tomada como cópia. A representação é tanto presença quanto fazer presente, o que há em nossa frente o é como aqui e agora, como um particular que não se reduz a nenhuma outra coisa semelhante. Há na forma simbólica representativa uma individualidade concretizada na imagem, por mais que se oculte em diferentes formas, em todas elas permanece idêntica a si mesma, possuem natureza fixa que é apreendida de forma mediata em suas múltiplas apresentações. A forma simbólica representativa constitui um signo, a designação de um objeto (CASSIRER, 1998, p. 133). Para uma forma simbólica representativa importa menos o antes e o depois, mas é principal a conexão que existe entre esses estados, nesse caso estamos buscando a identidade de um processo, sua constância. Isso é possível por meio de uma seleção, pela criação de um alvo, quando pretendemos fixar uma característica, determinados atributos e particularidades (CASSIRER, 1998, p. 139). Em uma

forma simbólica representativa tentamos fugir do “fluxo heraclitiano” (CASSIRER, 1998, p. 140) do devir⁹⁸. Por cima da distância, do tempo, ou da vivência o conteúdo do ente a ser representado deve ser apreendido como constante e permanente e postulado como idêntico a si mesmo, podendo nascer aqui os processos de elaboração de conceitos. Essas denominações parecem fazer sentido nas formas de uso que encontramos em nossas seqüências de episódios para a representação estrutural no ensino superior de química. Vamos em seguida apresentar algumas seqüências que nos influenciam na inferência sobre o uso de formas simbólicas representativas em nossos episódios.

Retoma-se a situação que encontramos na seção anterior, no episódio onze, que procura esclarecer algumas representações para isômeros CIS TRANS. Havia uma interação discursiva entre alguns alunos e o professor no intuito de esclarecer questões colocadas a partir das representações gráficas usadas pelo professor. Percebe-se anteriormente que o professor fez uso de uma ferramenta gestual em forma expressiva para uma tentativa de esclarecimento do problema, todavia o problema se mantém. Seguindo no episódio percebe-se que novas interações discursivas são estabelecidas entre a aluna que iniciou o episódio (A1) e o professor. Na seqüência oito deste episódio (Episódio 11 QGE-10052006-02 – Função da base normativa – isomeria CIS TRANS: seqüência 8) eles retomam o debate e focalizam suas discussões em torno de duas representações gráficas.

⁹⁸ Nesse caso Cassirer refere-se ao “panta roi” (πάντα ροή) de Heráclito de Éfeso (540 – 480 a.C.) que defende a máxima do “sempre fluxo” (CIRNE-LIMA 2005, p. 21), a permanente mudança da realidade, tudo está em constante transformação. Para Heráclito, no devir se instala a tensão entre o ser e o não-ser (os traços iniciais da dialética). É atribuída a Heráclito a expressão “águes sempre diferentes fluem sobre aqueles que entram nos mesmos rios” (LUCE, 1994, p. 46), como uma expressão simbólica da mutação contínua que constitui a essência do universo heraclitiano.

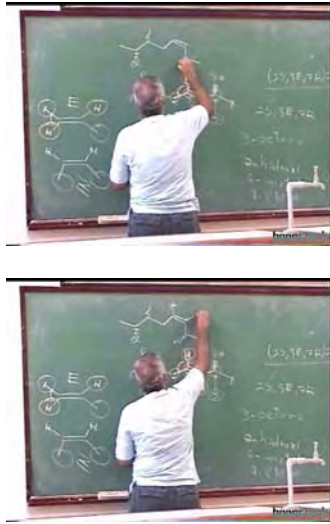
Quadro 5.24 – Episódio 11 QGE-10052006-02 – Função da base normativa isomeria CIS TRANS: seqüência 8

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
8	38 (A1) Bom, um tá entrando e outro tá... 39 (P) Não tem entrando e saindo! 40 (A1) Como não, se ali tem uma cunha e tem os tracejados? 41 (P) Que cunha? 42 (A1) No carbono, no carbono sp2... 43 (P) Aqui? 44 (Vários alunos) Ali, na densidade, no desenho, do lado, do lado. 45 (P) Há? 46 (A1) Então aí você fez um carboninho meu amor... 47 (P) Sim, porque eu botei a ligação assim. Se eu pegar isso aqui e colocar isso aqui virado para frente, esses dois aqui ficam colados aqui! 48 (A2) Ah, agora entendi. 49 (P) Certo? Eu estou fazendo isso, aqui é planar, eu estou botando os dois encostados no plano.	A dúvida persiste. A aluna situa sua dificuldade na relação entre duas representações gráficas que considera em conflito. Indica os elementos gráficos das representações que considera em conflito (cunha, tracejado). O professor retoma uma explicação, retoma também uma ferramenta gestual, agora ao lado da representação gráfica que a aluna indica possuir elementos em conflito.	  

Nesta seqüência o professor coloca em uso uma ferramenta gestual em relação a uma ferramenta gráfica numa forma simbólica que se considera representativa. O uso da ferramenta gestual tem como propósito estabelecer relação com a representação gráfica, esclarecendo a posição relativa dos ligantes na ligação dupla. Há aqui um exercício de apreensão do conteúdo simbólico da representação, que se tenta resolver pela relação entre duas ferramentas em uso como formas simbólicas representativas. Não se percebe mais o sentido de expressão de certo devir do objeto, mas de representar à aluna o que cada elemento da ferramenta gráfica situa no todo. O uso da relação entre ferramentas parece típico de formas simbólicas representativas, são propósitos determinados a esclarecer o sentido de uma ferramenta em relação à outra, de proporcionar como pode se tomar aquele modo instantâneo de um devir como suficiente à semiose de um ente específico.

Na seqüência seguinte deste episódio (Episódio 11 QGE-10052006-02 – Função da base normativa – isomeria CIS TRANS: seqüência 9) o professor retoma o uso de ferramentas em forma simbólica representativa, contudo sua escolha agora é relacionar duas ferramentas gráficas para resolver o problema ontológico que havia sido instalado em seqüências anteriores.

Quadro 5.25 – Episódio 11 QGE-10052006-02 – Função da base normativa isomeria CIS TRANS: seqüência 9

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
9	<p>50 (A1) Ta isso eu entendi, e por que aquele H você botou... na densidade, antes de você virar e botar no mesmo plano, ali o H tá na cunha e não está no tracejadinho daquele lado?</p> <p>51 (P) Que cunha? Aqui para frente? Porque eu que não quis!</p> <p>52 (A1) Ah, porque você não quis! Ah, essa é que é a resposta! Isso é que eu queria saber!</p> <p>53 (P) Por que o outro... se eu colocar isso aqui para trás...</p> <p>54 (A2) A molécula vai ser diferente.</p> <p>55 (P) Se eu colocar ele para trás a sua molécula seria essa, aqui ó... eu decidi que era isso... a molécula vai ser essa. Aqui ó, a molécula era outra, inclusive o nome era outro, ao invés de 3E, ia ser 3Z.</p> <p>56 (A1) Era isso que eu queria entender!</p> <p>58 (P) Mas eu que resolvi que era essa. Não tem como ficar mechendo de um lado para o outro, ligação dupla você não rompe.</p>		

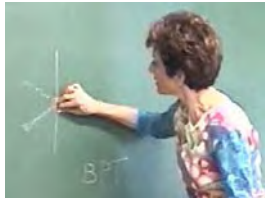
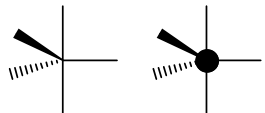
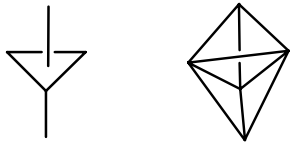

Nesta seqüência percebe-se novamente que o uso atribuído a uma representação estrutural não pode ser naturalizado no sentido de ser entendido como uma consequência direta de um ente em estudo. A representação gráfica é uma seleção e seu uso depende da atribuição de uma intencionalidade. Há também uma indicação de como pode ser favorável ao processo representativo o esclarecimento do processo ontológico que nele está contido. A situação problema deste episódio culmina com uma dificuldade de relação entre ontologia e representação. A dificuldade de perceber que novas escolhas representativas podem exigir novas escolhas ontológicas indica a importância de esclarecer tais questões no ensino da representação estrutural.

O processo representativo recorre amplamente à base normativa nesse episódio onze, mas as formas de uso mantidas pelo professor não pretendem recorrer exclusivamente a ela. As opções tomadas nesse episódio onze demonstram relações entre diferentes ferramentas materiais em uso intralingüístico, tipicamente tem-se uma dinâmica na qual uma ferramenta é colocada em uso para tentar esclarecer outra. Percebe-se que formas simbólicas representativas em uso intralingüístico são formas privilegiadas de uso no Ensino Superior de Química.

Essas formas de uso também são encontradas em outros episódios visitados anteriormente neste trabalho de investigação empírica. No domínio da química inorgânica, por exemplo, verifica-se esse uso em episódios que envolvem a relação entre diferentes

ferramentas gráficas, para a qual se destaca a seqüência um do episódio dois (Episódio 02 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e varetas: seqüência 1).


Quadro 5.26 – Episódio 02 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e varetas: seqüência 1

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) Bom... é... então vamos continuar com o número de coordenação. O número de coordenação cinco quais seriam as estruturas, lembrando aí o que vocês já viram na primeira inorgânica, quais seriam as estruturas possíveis ou os poliedros possíveis para número de coordenação cinco? O que vocês me dizem?</p> <p>2 (As) Bipirâmide trigonal.</p> <p>3 (P) Bipirâmide trigonal. Como é que agente representa isso? Tá certo? Bipirâmide trigonal. E a outra? Aqui agente tem o centro metálico, não é assim?</p> <p>4 (P) Agente pode também... representar isso... da seguinte maneira, vocês vão encontrar essa forma. Vocês podem também encontrar um poliedro desenhado, sempre lembrando que o centro metálico se encontra no centro desse poliedro. Tá Certo? E a outra possibilidade?</p> <p>5 (P) A pirâmide de base quadrada, ou a pirâmide quadrática né? Isso daqui... o centro metálico teria aqui. Agente pode representar isso dessa forma... tá certo?</p>	<p>Professor usa diferentes ferramentas gráficas para representar os poliedros que correspondem ao número de coordenação cinco. Sua ação de desenhar no quadro é alternada por perguntas aos alunos.</p>	   

Nessa seqüência sugere-se a ocorrência da forma simbólica representativa por meio da relação entre ferramentas gráficas. Nesse episódio se pode perceber também como se instala a função de uma base normativa nos termos de uma relação inicial extralingüística, e como isso é inserido na forma intralingüística por meio da legitimação do conteúdo simbólico. No turno quatro (Episódio 02 IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e varetas: seqüência 1 – turno 4) temos um exemplo disso na configuração da posição do centro metálico: “sempre lembrando que o centro metálico se encontra no centro desse poliedro”. Para decidir sobre a posição do centro metálico deve-se recorrer diretamente à base normativa.

Também no domínio da química orgânica, percebe-se que o exercício de relação entre formas simbólicas representativas por meio de usos intralingüísticos são atividades típicas, treinadas inclusive em tempo de aula. Um exemplo é encontrado no episódio doze, no qual estão dispostas situações que envolvem a base normativa como recurso na constituição e na justificação do processo semiótico. (Episódio 12 QGE-26042006-05 – Geometria e orbitais no caso dos alenos: seqüência 1).


Quadro 5.27 – Episódio 12 QGE-26042006-05 – Geometria e orbitais no caso dos alenos: seqüência 1

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) Você desenhar isso aqui, carbono, hidrogênio, hidrogênio, hidrogênio, hidrogênio. Fica muito fácil você fazer isso. Pra alguém ter, ó, pi, pi, sigma e sigma, ta, o que este carbono está fazendo? Duas ligações pi, duas ligações sigma, certo? Para ele fazer duas pi, uma para um lado e uma para o outro, não tem que ser tudo para o mesmo lado, necessariamente o pobre infeliz tem que ter dois orbitais p, TEM QUE TER, tem que ter para dar pra um e outro para dar para o outro, ele não pode ter um único orbital, tem que ter, isso aqui ó, não necessariamente você precisa ter tudo para o mesmo lado como é lá, lá daquele jeito, daquela cruz que ta lá, ta, tudo bem, juntou todos os orbitais de um lado, mas aqui não, ele botou um pedaço da cruz do lado de lá, ó, tem uma cruz aqui. Aí o que ele fez, ele juntou um... para o lado de cá, juntou esse com esse, mas esse aqui juntou com a outra cruz... com outra cruz não, com outro orbital p. E o caso, olha aqui, esse cara aqui tem o que? Uma ligação pi e uma ligação sigma, certo? Então ele tem só um orbital p, não tem dois, tem um só, e o resto é um restinho que sobrou (diminui o tem de voz não dá para entender), que eu botei os hidrogênios, ta?</p>	<p>Professor usa representação gráfica para mostrar diferentes possibilidades de ligação com a mesma hibridação (no caso sp). Usa exemplo dos alenos. Confronta duas representações gráficas, uma com prioridade para as ligações e outra com a prioridade para os orbitais envolvidos. Usa também uma representação gráfica exclusiva (cruz) para tratar da interação de orbitais p. Confronta-se então três representações gráficas.</p>	

Nesta seqüência temos que o professor apresenta diferentes ferramentas gráficas em forma simbólica representativa para tratar da assimetria existente em alenos, relacionando-se com a hibridação sp de um átomo de carbono. O professor coloca em uso diferentes representações gráficas procurando mostrar características estereoquímicas existentes nesse tipo de ente químico. Para isso ele conjuga a representação dos orbitais atômicos de elementos em ligação com a representação em bastão.

A multiplicidade de relações entre ferramentas proporciona exemplos paradigmáticos no que se refere ao caso das formas simbólicas representativas. Por exemplo, no episódio cinco, a partir da seqüência dois (Episódio 05 IQC-05052006-05 – Representações para a estrutura octaédrica: seqüência 2) tem-se um amplo conjunto de relações entre ferramentas materiais e ferramentas gráficas atuando em formas simbólicas tipicamente representativas, buscando-se o esclarecimento das formas gráficas. Nesse episódio são usadas três ferramentas materiais diferentes na relação com formas gráficas. Toma-se como exemplo a seqüência 3 do episódio cinco (Episódio 05 IQC-05052006-05 – Representações para a estrutura octaédrica: seqüência 3).

Quadro 5.28 – Episódio 05 (IQC-05052006-05) – Representações para a estrutura octaédrica: seqüência 3

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
3	5 (P) O que eu estou fazendo aqui? Aqui eu dou preferência a minha representação em que eu olho, em que eu alinho meu eixo C4, aqui, né, esse é o meu eixo C4. Alinho aqui, represento assim, ou represento assim, tanto faz né.	Pega a ferramenta material de varetas e coloca na frente da representação gráfica feita no quadro. Mostra a ferramenta material para os alunos destacando a escolha visual do eixo C4.	

Nesta seqüência tem-se que a relação em uso para as duas ferramentas gráficas no quadro e para a ferramenta material pretende constituir uma identificação entre topologia e estrutura. A ferramenta material que é colocada pela professora na frente das ferramentas gráficas age como um elo de construção dessa identidade.

As duas ferramentas gráficas podem ser usadas para assinalar a forma octaédrica de compostos de coordenação, contudo a ferramenta material está em uso como forma simbólica privilegiada, ela atua como uma instância legitimadora de identidade entre as duas ferramentas gráficas. Elas valorizam estrutura e topologia segundo uma escolha, uma intenção que é dada pelo eixo de simetria C4. Em nosso estudo empírico percebe-se o recursivo valor de privilégio que é dado a uma ferramenta material no momento de colocar em uso formas simbólicas representativas em caráter intralingüístico. O uso dessa ferramenta material parece um recurso semiótico adicional, com um valor explicativo mais efetivo do que aquele que se poderia conseguir por meio de aporte à base normativa. Destaca-se essa relação por meio da Figura 5.18.

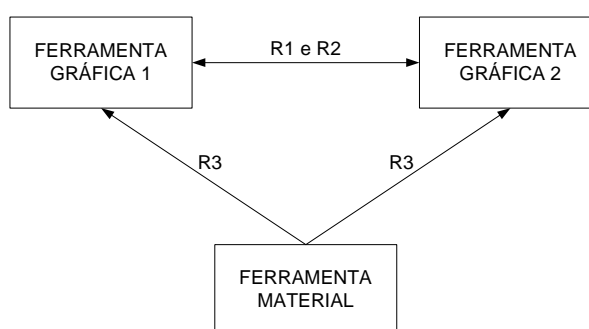


Figura 5.18 Relações propostas para as ferramentas em uso na seqüência três do episódio cinco.

Na Figura 5.18 tem-se três relações entre as ferramentas em uso por meio de forma simbólica representativa. R1 é a relação entre os conteúdos espaciais simbólicos contidos nas duas ferramentas gráficas⁹⁹. R2 é a relação entre critérios comuns nas bases normativas dessas

⁹⁹ Relação que pode ser esclarecida pelo reconhecimento dos elementos geométricos espaciais comuns entre as duas representações.

ferramentas¹⁰⁰. R3 é uma relação intralingüística privilegiada entre ferramentas simbólicas em uso na situação de ensino, e nesses termos nos colocamos contrários à assunção de valores icônicos em tal relação. As relações com a base normativa e com o conteúdo simbólico das duas representações gráficas são adicionadas de um novo processo que está em uso intralingüístico por meio da ferramenta material.

5.3.3 O uso de formas simbólicas significativas

Após a distinção entre a esfera da expressão e a da representação Cassirer distingue uma terceira forma simbólica: a significativa. Assim como a representação se torna independente do mundo da expressão estabelecendo um novo princípio, a aquisição da significação também se efetua por um processo que não ocorre em um só golpe.

Para Cassirer a primeira forma na qual o sujeito possui algo de seu meio circundante consiste na percepção desse mundo como uma multiplicidade de “vivências expressivas” (CASSIRER, 1998, p. 521). Tudo o que conhecemos como realidade é oferecido inicialmente como mera determinação expressiva. Mais adiante se percebe a virada para um novo domínio que filtra a determinação lógica de uma imagem, cria um conjunto de regularidades e lhes oferece ao mundo da representação. Pode agora o objeto estar aqui ou estar ali em uma dinamicidade espacial, e a determinação lógica desse processo representativo guarda conexão existencial. As formas simbólicas significativas estão muito próximas dos processos conceituais científicos. Elas se instalam por sobre a realidade sensível, sem esgotá-las, , mas com segurança e firmeza, descrevendo-a em um legítimo modo de conhecimento. Esse conhecimento não pretende estrita correspondência real, mas permite conhecer a estrutura dessa realidade tanto quanto sua ordem contínua. Esse modo de descrever permanece simbólico, pois parece perder de vista a semelhança com as coisas quanto mais definido e mais claro se torna por meio de uma relação de “legalidade” (CASSIRER, 1998, p. 525). Alguns sistemas conceituais em modo significativo escapam da possibilidade de serem conquistados por meios representativos.

A forma simbólica significativa caracteriza-se por ser em grande medida uma condição de possibilidade de seus objetos. Isto é determinar sua ordem e colecionar suas

¹⁰⁰ Relação que pode ser esclarecida pela consulta às convenções institucionais e de uso previstas na literatura para essas duas representações.

regularidades, desprendendo-se da imagem não mais se preocupando com as relações de localização, pois tais características colocadas na semiose por meio de uma forma simbólica significativa determinam condições estáveis do objeto imediato dessa significação¹⁰¹. Para Cassirer, a metafísica e a ontologia comuns constituem uma limitação ao processo semiótico de uma forma simbólica significativa, pois limitam a unidade da coisa como uma unidade substancial, aquilo que permanece idêntico através de câmbios de estado. Assim as coisas e seus estados se opõem impedindo a formação de um meio simbólico adequado para sua descrição.

Por meio de uma forma simbólica o objeto não é considerado como um objeto absoluto, mas um “significado objetivo” (CASSIRER, 1998, p. 369). Não se pergunta pelo objeto em si, mas pelo conjunto de propriedades que constituem suas possibilidades, as possibilidades de objetivação. É o conceito que trabalha constantemente trazendo as “mil conexões” (Cassirer, 1929, p. 370) que permitem conhecer o objeto. A forma simbólica significativa pretende um contínuo de espaço e tempo. Ela se relaciona com o seu objeto “na medida em que constitui um suposto necessário e imprescindível de sua objetividade, pois constituem a única função para a qual pode haver objetos, unidades constantes básicas no fluxo da experiência” (CASSIRER, 1998, p. 371). Para além do mundo dos sentidos, por meio de formas simbólicas significativas se edificará o mundo do significado, um mundo no qual é possível formular leis, ordens, organizações e sínteses, que são requeridas para interpretar as propostas de conhecimento sobre as coisas, os objetos e seus estados. O mundo que pode ser encontrado nas formas simbólicas significativas é um mundo de teorias.

Não pretendemos afastar a intenção de denominar seqüências em termos de usos das formas simbólicas significativas defendidas por Cassirer, mas nossos episódios não fornecem pluralismo em torno dessas formas. Isso não quer dizer que não existam em disciplinas iniciais do ensino superior de química, e também não quer dizer que sejam permanentes nas disciplinas finais desses cursos. Poderíamos trazer simbolismos em modo significativo em disciplinas iniciais, tais como as equações de onda pleiteadas na química geral como descritores privilegiados de processos quânticos, mas sabemos que os processos que envolvem representação estrutural não operam prioritariamente em suas atividades por meio dessas equações, e que elas também não são formas de uso comuns para a comunicação de estruturas. Ainda assim encontramos formas simbólicas significativas associadas ao uso de interpretações de estruturas, e passaremos a analisar um exemplo a seguir.


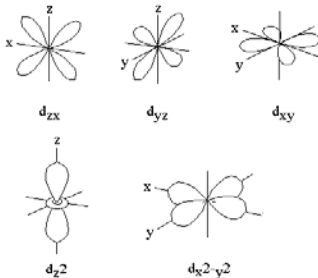
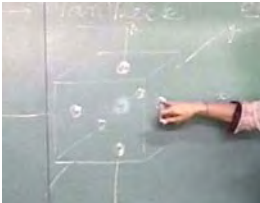
¹⁰¹ Quando se refere a semiose de uma forma simbólica significativa, Cassirer utiliza a palavra *significação*.

No episódio nove (Episódio 09 IQC-12052006-03 – TCC – Campo octaédrico e orientações de orbitais d) podemos perceber a ocorrência de uso descontextualizado de uma forma simbólica significativa. Esse uso se diferencia dos que avaliamos até agora. Na situação a professora coloca em uso três tipos de ferramentas gráficas que pretendem guiar o aluno em torno do desdobramento do campo ligante octaédrico sob a ótica da Teoria do Campo Cristalino. Segundo essa teoria, em um complexo octaédrico, seis ligantes são colocados em um eixo cartesiano cujo centro é o íon metálico. Os ligantes interagem fortemente com o íon metálico central e a estabilidade do composto de coordenação deriva em grande parte dessa interação. Elétrons de orbitais d apontando diretamente ao longo do eixo cartesiano e diretamente nos ligantes interagem mais fortemente pela carga negativa nos ligantes do que os elétrons nos outros orbitais d que apontam entre os ligantes. Há dois tipos de simetria em jogo para os cinco orbitais d que estão fazendo parte do campo: e_g e t_{2g} . Essa formulação pretende levar a construção de uma outra ferramenta gráfica (diagrama de energia) que representa os diferentes níveis de energia desses orbitais degenerados. A teoria ajuda a prever situações de comportamento para diferentes compostos de coordenação.

Segundo Shriver e Atkins (2003) essa situação não é aparente por meio de desenhos (SHRIVER e ATKINS, 2003, p. 256). Como dado explícito da literatura que emprega as mesmas ferramentas gráficas encontradas em nossos episódios, isso nos leva a refletir sobre o caráter descontextualizado para essa forma de uso de tais ferramentas. Vamos avaliar a seqüência que dá início ao que propomos ser uma apropriação de uso intralingüístico descontextualizado por meio de formas simbólicas significativas (Episódio 09 IQC-12052006-03 – TCC – Campo octaédrico e orientações de orbitais d: seqüências 1)

Quadro 5.29 – Episódio 09 IQC-12052006-03 – TCC – Campo octaédrico e orientações de orbitais d: seqüência

1


S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) Se agente for primeiro considerar um complexo octaédrico, como é que eu acho a melhor maneira de representar o complexo octaédrico, da seguinte forma. Então aqui eu tenho meu eixo x, y, e z. Orientei aqui meus eixos x, y e z em um cubo. No centro, onde os eixos se encontram, no zero eu coloco meu átomo metálico.</p> <p>2 (P) Esse átomo metálico que eu estou analisando aqui, os orbitais de fronteira dele são esses daqui, então, agente pode imaginar esses orbitais orientados direitinho aqui, segundo os eixos x, y e z. Vocês conseguem transpor de lá para cá.</p> <p>3 (P) Que tipo de interação agente espera quando agente aproxima seis ligantes dos eixos x, y e z. Ai vocês podem ver aqui que os ligantes, primeiro eu vou considerar ligantes iguais, seis cargas pontuais negativas, elas estão localizadas nas faces do cubo.</p>	<p>Enquanto fala desenha no quadro um cubo para representar o campo em um complexo octaédrico.</p> <p>Referindo-se às representações dos orbitais d que havia feito previamente e que estão ainda no quadro ao lado do cubo (evento 2 da mesma aula).</p> <p>Representa os ligantes como pontos nas faces do cubo que representa o campo cristalino.</p>	  

Nesta seqüência (Episódio 09 IQC-12052006-03 – TCC – Campo octaédrico e orientações de orbitais d: seqüências 1) a professora procura associar conjuntos de ferramentas gráficas que possuem o mesmo conteúdo simbólico, pensamos que está em jogo aqui uma habilidade de relação espacial: organizar as representações dos orbitais d no interior do cubo que serve como base para o campo octaédrico.

Dois tipos de orbitais d podem ser diferenciados com relação à orientação aos pontos de contato dos ligantes no cubo: (i) alinhados aos pontos de contato dos ligantes no campo octaédrico; (ii) não alinhados a estes pontos de contato. Entretanto, não é por esse motivo que eles são diferenciados, pois isso já está dado a partir da Teoria dos Grupos. O propósito do episódio é elaborar uma distinção energética desses dois grupos de orbitais, e para isso é adicionada uma terceira ferramenta gráfica: um diagrama de energia (Episódio 09 IQC-12052006-03 – TCC – Campo octaédrico e orientações de orbitais d: seqüência 3)

Quadro 5.30 – Episódio 09 (IQC-12052006-03) – TCC – Campo octaédrico e orientações de orbitais

d:seqüência 3

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
3	<p>5 (P) Então agora nós precisamos de ver como é que esses elétrons d sentem a aproximação dessas cargas pontuais. Eu tenho, eu disse pra vocês dois tipos de orbitais que quando agente ta numa molécula octaédrica, agente diz que é um campo octaédrico de ligantes. Eles são divididos em dois tipos, com nomes bem definidos: eg e t_{2g}, isso quer dizer, na teoria de grupo "t" quer dizer triplamente degenerado e "e" quer dizer duplamente degenerado. Eles tem a mesma energia, vamos ver se isso é verdade?</p> <p>6 (P) Quando eu aproximo seis ligantes como é que esses elétrons vão sentir, quem é que vai sentir mais o efeito dos ligantes? Os eg ou os t_{2g}?</p> <p>7 (A1) eg!</p> <p>8 (P) Eu estou aproximando os ligantes nos eixos xyz. No caso do eg eu tenho densidade eletrônica nos eixos xyz, enquanto nesse caso eu tenho densidade eletrônica entre os eixos. AO APROXIMAR os ligantes quem vai sentir mais... o eg, então ó os elétrons eg vão sentir muito mais os efeitos dos ligantes do que os t_{2g} vocês concordam coimigo?</p> <p>9 (P) Então o que vai acontecer aqui esses orbitais d vão se desdobrar de tal modo que os t_{2g} são estabilizados com os eg, então esses três sentem o efeito do ligantes da mesma maneira, por isso eles são degenerados, e esses dois sentem o efeito dos ligantes da mesma maneira, por isso eles são degenerados, degenerados quer dizer mesma energia.</p>	<p>Aponta para as representações dos orbitais d desenhados anteriormente para representá-los em função da classificação do campo cristalino.</p> <p>Procura interagir com os alunos, mas apenas um responde.</p> <p>Procura relacionar a representação da densidade dos orbitais com o diagrama de energia dos orbitais degenerados. Movimenta-se na frente do quadro entre o diagrama e a representação dos orbitais enfatizando a relação entre eles.</p>	

A relação de conteúdo espacial simbólico que é estabelecida entre as ferramentas gráficas em uso intralingüístico na *seqüência um* dá origem a formas simbólicas atuando representativamente. Contudo, a associação dessas ferramentas com o diagrama de níveis de energia na *seqüência três* pode ser considerada como em uso descontextualizado e como uma forma simbólica significativa.

O diagrama de energia está sendo usado como uma forma simbólica, mas seu uso não possui relação com o conteúdo simbólico de um cubo ou das representações dos orbitais d. Esse uso atribuído ao diagrama pretende transcender o tempo, ele não foi instalado em nenhum tempo específico, nem é resultado de uma relação espacial. Ele significa um campo octaédrico e a partir dessa atribuição novas inferências poderão ser realizadas. Tais processos de significação, de criação de novos conhecimentos deveriam estar assinalados como condição de possibilidade desde as duas ferramentas gráficas anteriores (e.g. distribuição eletrônica no campo ligante).

Essa nova forma simbólica possui uma abrangência ampliada e podemos concluir como significativa esta forma de uso. Contudo, isso não quer dizer que ela seja uma forma simbólica final, ou definitiva, que subtraia a funcionalidade ou a necessidade de formas simbólicas expressivas ou representativas. Ela é uma forma simbólica que irá transcender a formalização do tempo, para qualquer tempo, segundo a base normativa que concorda com a Teoria do Campo Cristalino, poderá ser usada de forma própria para a aquisição de novos significados.

Ao considerar a influência do tempo na escala de produção de representações estruturais por meio da discussão em torno das formas simbólicas, conclui-se a apresentação do conjunto de resultados selecionados nesta pesquisa. Com isso tem-se por finalizado nesse momento do projeto um esforço produtivo de organização de episódios com o intuito de fortalecer o trabalho teórico de reflexão sobre a representação no Ensino de Química. A seguir trata-se de oferecer algumas considerações finais, em uma perspectiva de integração dos diferentes aspectos deste estudo, que nos proporcionou um debate amplo e vigoroso até este ponto.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse momento colocamos em evidência os aspectos principais daquilo que se pretende oferecer como uma nova forma de interpretar a representação, o que denominamos uma função representativa. Queremos propor uma nova orientação para o estudo da noção de representação no Ensino de Química, diferente daquela que consideramos na revisão da literatura, tendo em vista tanto nossos resultados empíricos, quanto possíveis ensaios analíticos a partir do quadro teórico-filosófico.

Na concepção que defendemos no presente trabalho, uma das características importantes de um processo representativo trata da sua intencionalidade. A representação estrutural não decorre naturalmente da apropriação das características dos entes aos quais tenciona fazer referência, ela é uma construção coletiva e compartilhada entre os membros da comunidade que lhe confere legitimidade. A evolução da noção de representação estrutural tem compromisso com a comunicação entre pares, mas também trata de ajudar no progresso conceitual, permitindo a criação de ontologias e garantindo escolhas coerentes no que se refere ao compartilhamento de novos tipos de conhecimentos na área de química.

A condição reflexiva que pode ser promovida por meio da aplicação de processos de representação estrutural propõe formas que podem chegar até o limite das ontologias possíveis. Mesmo mantendo essa disposição inicial para com o que se ousa chamar de poder preditivo, tal processo se compromete com um controle protocolar de comunicação que possa dar garantias do entendimento dessa reflexão, permitindo a negociação de instâncias decisórias sobre os critérios de verdade acerca de seu produto.

Para que haja promoção dessa esfera de comunicação com manutenção da atividade de criação defende-se aqui a prioridade do caráter simbólico da representação estrutural. Tal caráter se vale da permanente comunicação com o que se propõe como *base normativa*. Ela corresponde a um conjunto de normas, convenções, conceitos e produtos negociados pela comunidade que controla e usa a representação estrutural. Como um sistema legal a *base normativa* negocia a relação entre conceito e convenção, unindo estruturas intelectualmente elaboradas e formas de comunicação. Essa relação permite estender a representação estrutural para o exercício de seu caráter preditivo, pois os pares da comunidade de referência podem utilizar a síntese de um conhecimento produzido na criação de novos entes ou na previsão de suas propriedades.

O caráter simbólico de ação do signo da representação estrutural pode ser compreendido de maneira bastante apropriada quando se retoma a própria filosofia da noção

de representação, e se propõe a circunscrição desse *modus vivendi* simbólico aos três domínios analisados neste trabalho: conteúdo-ferramenta-forma. O conteúdo é o sentido original de representação desse signo, mas só pode conseguir significado, uma forma, por meio do uso de diferentes ferramentas mediais simbólicas.

No caminho a ser percorrido pela representação estrutural no ensino superior de química percebe-se que os conteúdos da visualização, relação e rotação espacial estão dinamicamente associados durante as atividades propostas. Isso desfaz em boa medida, no que concerne aos estudos em ensino de química, o grande privilégio dado ao domínio da rotação espacial em relação a outros tipos de habilidade propostos pela literatura. Outra questão que se julga poder ser desfeita a partir de nossos resultados é a limitação de uma metodologia de pesquisa sobre habilidades espaciais com exclusividade de confronto de indivíduos a testes padronizados. Consideramos uma leitura das habilidades espaciais em uma nova dimensão metodológica, bastante diferenciada do que existe na literatura, por meio da avaliação de registros audiovisuais. Pudemos apresentar correlação de nossos dados aos diferentes conteúdos de habilidades espaciais por meio da ação do professor em situações no Ensino Superior de Química.

Todavia, continuamos envolvidos no esclarecimento das categorias propostas para as habilidades espaciais. Consideramos indisputável a premência do conteúdo espacial simbólico como elemento fundamental de processos de avaliação da representação estrutural no Ensino de Química, e reconhecemos que esse encontro inicial com a literatura sobre habilidades espaciais foi inspirador, mas gostaríamos de partir para focalizações seletivas quanto ao domínio da química em nossos reencontros com esse tema no futuro. Como por exemplo, a influência que a Teoria dos Grupos poderia promover com vistas ao reconhecimento de novos padrões do que consideramos como conteúdos espaciais simbólicos.

Os conteúdos espaciais simbólicos não podem ser alcançados sem processos mediais promovidos por ferramentas de diferentes ordens. Sejam tais ferramentas gráficas, materiais ou gestuais, elas encontram no Ensino Superior um ambiente típico para a promoção de formas de uso dedicadas ao tema da representação estrutural. As ferramentas de ordem gráfica encontram valorização tanto por meio da sua frequência de uso quanto por participarem de relações intralingüísticas representativas, nas quais ferramentas de outra ordem são usadas para esclarecer seus possíveis usos. Isso nos permite propor os modos gráficos de representação estrutural como verdadeiras ferramentas psicológicas, no sentido considerado por Vigotski, e devem estar a serviço do sujeito seja em processos de comunicação como para a elaboração conceitual.

As relações intralingüísticas, bastante consideradas nas situações de ensino da representação estrutural, oferecem uma abertura para localização de certas instâncias representativas privilegiadas. Essas formas privilegiadas são plurais quanto à ordem, pois verificamos que podem ser disputadas entre diferentes ferramentas materiais ou gestuais. Contudo, reafirma-se aqui que o uso de ferramentas materiais não deve ser considerado como uma esfera extralingüística ou um ambiente terminativo de referência isomórfica. Elas agem em processos intralingüísticos que se dedicam a esclarecer o uso de ferramentas gráficas, negociando sentido por meio da relação entre conteúdos espaciais simbólicos. Essas questões levam-nos a considerar que esses modos intralingüísticos proporcionam a representação de características referenciais temporárias como seleções restritas do aspecto dinâmico do ente químico.

Pode-se referenciar um objeto exclusivo e estável, sob o ponto de vista ontológico, por meio de uma variedade de expressões lingüísticas, e todas elas permitem produzir significado sobre tal objeto. No caso da representação estrutural entendemos que há certa influência ontológica a impor algumas direções ao modo do agir dos signos gráficos. Não se percebe nas situações de estudo sobre a representação estrutural a necessidade de um compromisso ontológico com a completude do ente químico. Não se verifica interesse em representar a molécula de forma completa ou definitiva. O exercício de aquisição desse ente é dado por meio de sua permanente *desconstrução representativa*. Essa *semiótica da desconstrução*, que gostaríamos de propor como uma característica em processos de representação estrutural, parece ter a ver com o caminho pretendido na direção da descontextualização. Acreditamos que este processo pode receber colaboração da ontologia processual para o caso da representação de entes químicos. Essa escolha coloca a possibilidade de refletir acerca da totalidade do ente evitando restrições dicotômicas nesse processo de desconstrução, tal como a disputa entre instâncias e propriedades.

Percebe-se que o esclarecimento dessas questões no circuito de ensino da representação estrutural, pode oferecer mais autonomia ao aprendiz durante procedimentos de cambio representativo, ou ainda na determinação de configurações absolutas para alguns entes químicos. Isso se deve às imbricações que a base normativa de tais procedimentos apresenta em relação ao domínio ontológico do ente químico. Entretanto, sabemos que tais proposições carecem ainda de investigações mais detalhadas, pois pouco se tem na literatura sobre o assunto.

Como apresentamos em nossas proposições teórico-filosóficas, a superação de posições ontológicas restritas, é uma espécie de condição *sine qua non* para a aquisição

epistemológica de processos representativos por meio das Formas Simbólicas de Cassirer. O materialismo ordinário deve ser suplantado por uma forma mais elaborada de comunicarem-se as séries perceptuais da ordem fatural fenomênica e as séries conceituais. Tanto o instrumentalismo quanto o racionalismo dogmáticos, por vezes apresentados como alternativa pela Filosofia da Química, não promovem uma base confiável para ancorarmos nossos resultados, e fracassam quanto a constituição de um referencial epistemológico para entender os usos da representação estrutural. Ambos anulam o movimento requerido nos processos de ensino que estudamos e não contemplam o privilégio intralingüístico de cambio representativo que é típico a este tema de estudo. Consideramos que a Filosofia das Formas Simbólicas oferece um caminho epistemológico mais seguro para conhecer as representações estruturais em seu poder criativo e como a realização de uma comunidade que se atreveu a olhar além do visível, pois mesmo quando ocorre no domínio científico a criação transcende a racionalidade e a lógica. Para somar-se a outros estudos que pretendem colaborar nessa nova elaboração propomos um processo medial simbólico, ancorado na relação entre conteúdo e forma, e fundamentado na ação de ferramentas na perspectiva da Mediação Semiótica de Vigotski.

O processo representativo como mediador oferece uma maneira mais coerente e menos ingênua de lidar com o tema de estudo do presente trabalho. Nesse sentido, propomos que as diferentes formas de uso encontradas para referenciar os entes da química possam estar vinculadas a modos que se assemelham às Formas Simbólicas em cooperação com a Mediação Semiótica. As aproximações possíveis entre as formulações de Cassirer e Vigotsky não se esgotam na função mediada da representação. Cassirer proporciona uma leitura próxima da atividade simbólica em geral, inclusive na ciência.

As aproximações possíveis entre as formas simbólicas significativas e modos de usos descontextualizados não se esgotam em nossas análises de episódios do Ensino Superior de Química. Explorar novos indícios desse tipo de relação impondo novas circunstâncias de restrição metodológica é uma meta para pesquisas futuras. Por outro lado, em termos da atribuição de relação ampla e diversificada, em termos da ordem das ferramentas materiais em uso, entre formas simbólicas representativas e modos de uso intralingüísticos, consideramos ter conseguido formular de maneira segura e convincente como pode ser frutífera a imbricação entre Formas Simbólicas e Mediação Semiótica, em um novo modo de interpretar a atividade representativa na Química. Essa imbricação também se manifesta ao admitirmos que formas simbólicas expressivas possam assumir modos de uso intralingüísticos para o esclarecimento de ferramentas gráficas, em atribuições ontológicas processuais tipicamente

relacionadas ao contínuo do tempo. Particularmente, consideramos em especial a oportunidade de refletir sobre o tempo em processos representativos, uma característica que determinou uma espécie de “virada epistemológica” e conferiu um novo caminho filosófico para a Teoria Estrutural na Química.

A defesa por uma aproximação necessariamente filosófica para a noção de representação no ensino de química nos coloca novamente diante das Formas Simbólicas de Cassirer. Nelas encontramos um guia para a organização dos modos de uso com a Mediação Semiótica de Vigotski nas diferentes situações de estudo que foram pesquisadas. As formas simbólicas apresentam características intrínsecas que permitem sua apropriação como uma função epistemológica que pode trabalhar em conjunto com a atividade mediada, típica das ferramentas que se destacam a partir das leituras da Teoria Histórico-Cultural.

Percebemos durante a revisão teórica que o alcance de uma perspectiva filosófica unificada que abarque a totalidade das formas de uso envolvidas no processo de representação estrutural ainda é uma questão em estudo. Consideramos que não seria próprio ter-se como proposição uma função representativa específica para cada forma de uso, o que nos colocaria diante de um pluralismo pouco eficaz para os objetivos da pesquisa. Nesse sentido, não teríamos uma resposta para perguntas sobre o conhecimento em representação estrutural como um domínio de estudo, mas sim respostas independentes tendo cada forma de uso como um domínio isolado.

À guisa de encerramento destacamos que a procura pela atribuição de aspectos científicos à representação estrutural, no sentido de enquadrá-la como uma “representação científica”, é um esforço estéril e inoportuno aos propósitos do entendimento do que possa ser Ciência para o Ensino de Química. A importância ou a relevância do processo de representação estrutural é proporcionada pela multiplicidade de formas de uso e de processos de esclarecimento criados para as situações de ensino e divulgação deste aspecto da Química em diferentes domínios do conhecimento. A multiplicidade de meios instalados nos ambientes da cultura acadêmica e científica consagra a representação estrutural como uma herança que deve ser comunicada às futuras gerações de químicos de forma contínua e dinâmica.

Reafirmamos e defendemos o caráter prioritariamente simbólico do signo gráfico em nossa função representativa, tanto a partir das formas de uso no domínio empírico, quanto com relação aos nossos aportes teóricos. Com vistas a manter essa atividade simbólica em ação no circuito semiótico decorre a proposição de uma *base normativa*, produtora das atribuições legais em termos conceituais e de convenção características do signo nos processos de representação estrutural.

Recolocamos também que as atividades de ensino da representação estrutural são mediadas por ferramentas de diferentes ordens (e.g. gráficas, materiais e gestuais) e a função medial trabalha integrando conteúdos espaciais e formas simbólicas típicas. Diferentes conteúdos espaciais simbólicos podem ser apropriados pela mesma ferramenta, o que reforça essa perspectiva integradora do processo de mediação.

Finalmente, consideramos que nossa análise pode se tornar mais robusta na medida em que ampliarmos nosso estudo com relação à função representativa em termos das diferentes ordens das ferramentas que encontramos em nossos episódios. Pretendemos avançar na nossa pesquisa e propor uma função epistemológica para análise da influência de cada Forma Simbólica isoladamente. Temos interesse no estudo das diferentes formas simbólicas expressivas, tentando configurá-las para modos de uso que envolva ferramentas computacionais, cada vez mais importantes no quadro do ensino em geral.

Outro interesse de pesquisa está associado ao encontro com os ambientes de ensino da representação estrutural, e refere-se ao aprofundamento da distinção do caráter preditivo da representação estrutural por meio de ferramentas gráficas. Vislumbramos que esse tipo de aporte deve considerar uma reaproximação metodológica ao ambiente do Ensino Superior de Química, tratando de disciplinas que requerem o uso de representações gráficas para processos mecanísticos e de reações. Ao final dessa trajetória, acreditamos que a discussão teórica e empírica alcançada por meio deste trabalho de tese oferece um projeto robusto e que propõe discussões diferenciadas e bastante amplas para o tema da representação no Ensino de Química.

7. REFERÊNCIAS

ARAÚJO NETO, W. N. A noção clássica de valência e o limiar da representação estrutural. **Química Nova na Escola**, caderno temático n. 7, p. 13-24, 2007.

ARONSON, J.; HARRÉ, R.; WAY, E. **Realism Rescued**. London: Duckworth, 1993.

BALABAN, A. T. Visual chemistry: three-dimensional perception of chemical structures. **Journal of Science Education and Technology**, v. 8, n. 4, p. 251-255, 1999.

BARKE, H. D.; ENGIDA, T. Structural chemistry and spatial ability in different cultures. **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, v. 2, n. 3, p. 227-239, 2001.

BERRY, R. S. Correlation of rates of intramolecular tunneling processes, with application to some group V compounds. **Journal of Chemical Physics**. v. 32, p. 933-938, 1960.

BISHOP, Alan. Spatial abilities and mathematics education – A review. **Educational Studies in Mathematics**, v. 11, n. 3, p. 257-269, 1980.

BUTLER, S. I.; HARROD, J. F. **Química Inorgânica: Principios y Aplicaciones**. México: Addison-Wesley Iberoamericana, 1992.

BHUSHAM, Nalini; ROSENFELD, Stuart. (eds.) **Of minds and molecules: new philosophical perspectives on chemistry**. New York: Oxford University Press, 2000. 298 p.

BRAKEL, J. Van. **Philosophy of chemistry: between the manifest and the scientific image**. Leuven: Leuven University Press, 2000. 246 p.

BRANQUINHO, J.; MURCHO, D.; GOMES, N. **Enciclopédia de termos lógico-filosóficos**. São Paulo: Martins Fontes, 2006. 824 p.

BROWNLOW, S.; McPHERON, T.; ACKS, C. Science Background and Spatial Abilities in Men and Women. **Journal of Science Education and Technology**, v. 12, n. 4, p. 371-380, 2003.

CAMPBELL, K. The Metaphysic of Abstract Particulars. **Midwest Studies in Philosophy**, vol. 6, pp. 477-488, 1981.

CARTER, C. S.; LARUSSA, M. A.; BODNER, G. M. A study of two measures of spatial ability as predictors of success in different levels in general chemistry. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 24, n. 7, p. 645-657, 1987.

CASSIRER, E. The problem of the symbol and its place in the system of philosophy (1927). **Man and World**, v. 11, n. 3-4, p. 411-428, 1978.

_____. The concept of group and the theory of perception. **Pilosophy and Phenomenological Research**, v. 5, n. 1, p. 1-36, 1944.

_____. **Antropologia filosófica**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1963. 335 p.

_____. **Essência e efeito do conceito de símbolo**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1989.

_____. **Filosofia de las formas simbólicas: fenomenologia del reconecimento**. México: Fondo de Cultura Económica, 1998. 558 p.

CHALMERS, A. **O que é a ciência afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1999. 225 p.

CHANDRASEGARAM, A. L.; TREAGUST, D.; MOCERINO, M. The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 8, n. 3, p. 293-307, 2007.

CHITTLEBOROUGH, G.; TREAGUST, D. The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 8, n. 3, p. 274-292, 2007.

CIRNE-LIMA, C. R. **Dialética para principiantes**. São Leopoldo: Unisinos, 2005, 247 p.

CLARK, J.; PAIVIO, A. Dual coding theory and education. **Educational Psychology Review**, v. 3, n. 3, p. 149-210, 1991

CLAYDEN, J.; GREEVES, N. ; WARREN, S. ; WOTHER, P. **Organic Chemistry**. New York: OXFORD University Press, 2001. 1512 p.

COELHO NETTO, J. T. **Semiótica, informação e comunicação**. São Paulo: Perspectiva, 2003. 217 p.

COOK, M. P. Visual representations in science education: the influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. **Science Education**, v. 90, n. 6, p. 1073-1091, 2006.

COPOLO, Cynthia E.; HOUNSHELL, Paul B. Using three-dimensional models to teach molecular structures in high school chemistry. **Journal of Science Education and Technology**, v. 4, n. 4, p. 1573-1839, 1995.

DORI, Y. J.; HAMEIRI, M. Multidimensional Analysis System for Quantitative Chemistry Problems: Symbol, Macro, Micro, and Process Aspects. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 40, n. 3, p. 278-302, 2003.

EALY, J.; HERMANSON, J. Molecular images in organic chemistry: assessment of understanding in aromaticity, symmetry, spectroscopy, and shielding. **Journal of Science Education and Technology**, v. 15, n. 1, p. 59-68, 2006.

ELIEL, E. L.; WILEN, S. H. **Stereochemistry of organic compounds**. New York: John Wiley, 1994. 1267 p.

ELIEL, E. L.; WILEN, S. H.; DOYLE, M. P. **Basic organic stereochemistry**. New York: John Wiley, 2001. 649 p.

ERNST, B. **Mundos imposibles**. Netherlands: Taschen, 2006. 95p.

ESTEVES, P. M.; FERREIRA, N. B. P.; CORRÊA, R. J. Neutral Structures with a Planar Tetracoordinated Carbon Based on Spiropentadiene Analogues. **Journal of American Chemical Society**, v. 127, 8680-8685, 2005.

EVANS, G. **The varieties of reference**. New York: Oxford University Press, 1982.

FAUSTINO, Sílvia. **A experiência indizível: uma introdução ao Tractatus de Wittgenstein**. São Paulo: Editora UNESP, 2006. 218 p.

FARRAR, W. V. "Chemistry in Space" and the complex atom. **The British Journal for the History of Science**, v. 4, n. 1, p. 65-67, 1968.

FERK, V.; VRTACNIK, M. Students' understanding of molecular structure representations. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 10, p. 1227-1245, 2003.

FIDALGO, Antônio. **Semiótica: a lógica da comunicação**. Lisboa: Labcom Books, 1988.

FLORES-CAMACHO, F.; GALLEGOS-CÉZARES, L.; GARRITZ, A.; GARCÍA-FRANCO, A. Incommensurability and multiple models: representations of the structure of matter in undergraduate chemistry students. **Science & Education**, v. 16, n. 7-8, p. 775-800, 2007.

FONTANIER, J-M. **Dicionário latino da filosofia**. São Paulo: Martins Fontes, 2007. 144p.

FRIEDMAN, M. **A parting of the ways: Carnap, Cassirer and Heidegger**. Chicago: Open Court Publishing, 2000.

FURETIÈRE, A. **Dictionnaire Universel: Contenant généralement tous les mots François tant vieux que modernes, & les termes de toutes les Sciences & des Arts**. Abbé de Chalivoy, de l'Académie Française, A Rotterdam, 1690.

GARCÍA-RUIZ, M.; VALDEZ-VELAZQUEZ, L. L.; GÓMEZ-SANDOVAL, Z. Integración de visualización científica molecular em salón de clases. **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 2184-2189, 2008.

GARRETT, B. **Metafísica**. Porto Alegre: Artmed, 2008. 190 p.

GARROD, S. et. al. Foundations of Representation: Where Might Graphical Symbol Systems Come From? **Cognitive Science**, v. 31, n. 6, p. 961-987, 2007.

GAVROGLU, K. Philosophical issues in the history of chemistry. **Synthese**, v. 111, n. 3, p. 283-304, 1997.

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.

GISNSBURG, C. **Olhos de Madeira: nove reflexões sobre a distância**. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

GIERE, R. Using models to represent reality, In: MAGNANI, L.; NERSESSIAN, N.; THAGARD, P. (Eds), **Model-Based Reasoning in Scientific Discovery** Dordrecht: Kluwer, 1999.

GIORDAN, M. **Computadores e linguagens nas aulas de ciências**. Ijuí: Editora Unijuí, 2008. 325p.

GIORDAN, M.; GÓIS, J. Telemática educacional e ensino de química: considerações em torno do desenvolvimento de um construtor de objetos moleculares. **Revista Latinoamericana de Tecnologia Educativa**, v. 3, n. 2, p. 41-59, 2004.

GOBRY, I. **Vocabulário grego da filosofia**. São Paulo: Martins Fontes, 2007. 164p.

GOODWIN, W. M. Structural fórmulas and explanation in organic chemistry. **Foundations of Chemistry**, v. 10, n. 2, p. 117-127, 2008.

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

HABERMAS, Jürgen. **The liberating power of symbols**. Cambridge: MIT Press, 2001. 130 p.

HAN, J.; ROTH, W-M. Chemical inscriptions in korean textbooks: semiotics of macro and microworld. **Science Education**, v. 90, n. 2, p. 173-201, 2006.

HEIDEGGER, M. **Que é uma coisa?** Lisboa: Edições 70, 2002. 237 p.

HENDRY, R. F. Elements, compounds, and other chemical kinds. **Philosophy of Science**, v. 73, p. 864-875, 2006.

HENTSCHEL, K. Mapping the spectrum. **Techniques of visual representation in research and teaching**. Oxford: Oxford University Press, 2002. 562 p.

HOFF, J. H. v. Die Lagerung der Atome im Raume. **Monatshefte für Mathematik**, v. 20, n. 1, p. a47, 1909.

HOFFMANN, R. **O mesmo e o não-mesmo**. São Paulo: Unesp, 2007. 341 p.

HOFFMANN, R.; LASZLO, P. Representation in chemistry. **Angewandte Chemie**, v. 30, n. 1, p. 1-16, 1991.

HUK, T. Who Benefits Learning with 3D Models? The Case of Spatial Ability. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 22, n. 6, p. 392-404, 2006.

HUSSERL, E. **Recherches Logiques**. Paris: Presses Universitaires de France, 1962. 392 p.

_____. **Investigações Lógicas**. Coleção Pensadores. São Paulo: Editora Nova Cultural, 2000, 224 p.

IHDE, A. **The development of modern chemistry**, New York: Dover Publications, 1966.

IMAGUIRE, G. O platonismo de Russell na metafísica e na matemática. **Kriterion**, n. 111, p. 9-28, 2005.

_____. A substância e suas alternativas: feixes e tropos. IN: IMAGUIRE, G.; ALMEIDA, C. L. S.; OLIVEIRA. **Metafísica contemporânea**. Petrópolis: Vozes, 2007, 399 p.

INWOOD, M. **Dicionário Heidegger**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2002. 239 p.

JENKINS, Z. Do you need to believe in orbitals to use them?: realism and the autonomy of chemistry. **Philosophy of Science**, v. 70, p. 1052–1062, 2003.

JOHNSON, W.; BOUCHARD JR, T. Sex differences in mental ability: A proposed means to link them to brain structure and function. **Intelligence**, v. 35, n. 3, p. 197-209, 2007.

JOHNSTONE, A. H. Macro and micro chemistry. **School Science Review**, v. 64, p. 377-379, 1982.

_____. The development of chemistry teaching: a changing response to changing demand. **Journal of Chemical Education**, v. 70, n. 9, p. 701-705, 1993.

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

JOHNSTONE, A. H.; SELEPENG, D. A language problem revisited. **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, v. 2, n. 1, p. 19-29, 2001.

KAUFMAN, S. B. Sex Differences in mental rotation and spatial visualization ability: can they be accounted for by differences in working memory capacity? **Intelligence**, v. 35, n.3, p. 211-223, 2007.

KEIG, P. F.; RUBA, P. Translation of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, gender, spatial reasoning and specific prior knowledge. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 30, n. 8, p. 883-903, 1993.

KERTESZ, M.; HOFFMANN, R. Octahedral vs. Trigonal-Prismatic Coordination and Clustering in Transition-Metal Dichalcogenides. **Journal of American Chemical Society**, v. 106, p. 3453-3460, 1984.

KIKAS, E. The Effect of Verbal and Visuo-Spatial Abilities on the Development of Knowledge of the Earth. *Research in Science Education*, v. 36, n. 3, p. 157-244, 2006.

KLEIN, Ursula. Paper Tools in experimental cultures. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 32, n. 2, p. 265-302, 2001a.

_____. Berzelian Formulas as Paper Tools in Early Nineteenth-Century Chemistry. **Foundations of Chemistry**, v. 3, n. 1, p. 7-32, 2001b.

KOZHEVNIKOV, Maria; et al. Spatial Visualization in Physics Problem Solving. **Cognitive Science**, v. 31, n. 4, p. 549-579, 2007

KOZMA, R.B.; RUSSELL, J. Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. **Journal of Research in Science Teaching**, 34, p. 949-968, 1997.

LEE, Kam-Wah L. Particulate representation of a chemical reaction mechanism. **Research in Science Education**, v. 29, n. 3, p. 401-415, 1999.

LEIGH, G. J.; FAVRE, H. A.; METANOMSKI, W. V. **Principles of chemical nomenclature: a guide to IUPAC recommendations**. Oxford: Blackwell Science, 1998. 133 p.

LINN, M. C.; PETERSEN, A. C. Emergence and characterization of sex differences in spatial ability. A meta-analysis. **Child Development**, v. 56, n. 6, p. 1479-1498, 1985.

LIVANIOS, V. Tropes, particularity, and space-time. **Journal of General Philosophy of Science**, v. 38, p. 357-368, 2007.

LOMBARDI, O.; LABARCA, M. The ontological autonomy of the chemical world. **Foundations of chemistry**, v. 7, n. 2, p. 125-148, 2005.

LORD, T. R. Enhancing the visuo-spatial aptitude of students. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 22, n. 5, p. 395-405, 1985.

LORD, T. R.; RUPERT, J. L. Visual-spatial aptitude in elementary education majors in science and math tracks. **Journal of Elementary Science Education**, v. 7, n. 2, p. 47-58, 1995.

LUCE, J. V. **Curso de filosofia grega**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1994. 183 p.

MAIER, P. H. Spatial Geometry and Spatial Ability How to make solid Geometry solid? **Proceedings of the Annual Meeting of the GDM: Selected Papers from the Annual Conference on Didactics of Mathematics**, Regensburg, p. 69-81, 1996.

MATHEWSON, J. H. Visual-spatial thinking: An aspect of science overlooked by educators. **Science Education**, v. 83, n. 1 p. 33-54, 1999.

MARTINS, I. Dados como diálogo: construindo dados a partir de registros de observação de interações discursivas em salas de aula de ciências. IN: SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M. **A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias**. Ijuí: Editora Unijuí, 2006.

McINTYRE, L. The Philosophy of Chemistry: ten years later. **Synthese**, v. 155, n. 3, p. 291-292, 2007a.

_____. Emergence and reduction in chemistry: ontological or epistemological concepts? **Synthese**, v. 155, n. 3, p. 337-343, 2007b.

McMURRY, J. **Organic Chemistry**. New York: Brooks/Cole, 2000.

MOSS, G. P. Basic Terminology of stereochemistry. **Pure and Applied Chemistry**, v. 68, n. 12, p. 2193-2222, 1996.

MORTIMER, E. F. Multivoicedness and univocality in classroom discourse: an example from theory of matter. **International Journal of Science Education**, v. 20, n. 1, p. 67-82, 1998.

MOURA, M. R. O simbólico em Cassirer. **Ideação**, Feira de Santana, n.5, p.75-85 , 2000.

MUSKENS, R. Sense and the computation of reference. **Linguistics and Philosophy**, v. 28, n. 4, p. 473-504, 2005.

NÖTH, W. Crisis of representation? **Semiotica**, n. 143, p. 9-15, 2003.

NYE, M. J. Chemical explanation and physical dynamics: Two research schools at the First Solvay chemistry conferences, 1922-1928. **Annals of Science**, v. 46, n. 5, p. 461-480, 1989.

PAIBERRO, D.; BAITELLO JÚNIOR, N.; MENEZES, J. E. O. **Os símbolos vivem mais que os homens**. São Paulo: Annablume, 2007.

PECORARO, R. Edmund Husserl. In. **Clássicos da Filosofia**. Rio de Janeiro: Editora da PUC Rio, 2008.

PEIRCE, C. S. **Semiótica**. São Paulo: Editora Perspectiva, 2003. 337 p.

PERINI, L. Visual Representations and Confirmation. **Philosophy of Science**, v. 72, p. 913–926, 2006.

PESAVENTO, S. J. Representações. **Revista Brasileira de História**, v.15, n. 29, 1995.

PETRUSIC, W. M.; VARRO, Linda; JAMIESON, Donald G. Mental rotation validation of two spatial ability tests. **Psychological Research**, v. 40, n. 2, p. 139-148, 1978.

PITKIN, H. F. **The concept of representation**. Londres: University of California Press, 1972. 323 p.

PLATÃO. **Timeu; Crítias; o segundo Alcebiades; Hípias menor**. Trad. C. A. Nunes. Belém: EDUFPA, 2001.

POIDEVIN, R. Space and the chiral molecule. In: BHUSHAN, N.; ROSENFELD, S. **Of Minds and Molecules: new philosophical perspectives on chemistry**. New York: Oxford University Press, 2000, p. 129-142.

POPPER, K. R. **Conhecimento objetivo**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1999.

PORTA, M. A. G. **A filosofia a partir de seus problemas**. São Paulo: Edições Loyola, 2002.

PRIBYL, J. R.; BODNER, G. M. Spatial ability and its role in Organic Chemistry. A study of four Organic courses. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 24, n. 3, p. 229-240, 1987.

PURYEAR, S. M. **Perception and representation in Leibniz**. Pittsburg: Graduate Faculty of the department of philosophy; University of Pittsburg, 2006. 274 p. Tese de doutorado em filosofia.

PUTNAM, H. **Representation and reality**. Cambridge: MIT Press, 1988.

QUINE, W. **Theories and Things**. Cambridge: Harvard University Press, 1981. 215p.

RAMBERG, P. J. Paper tools and fictional worlds: prediction, synthesis and auxiliary hypotheses in chemistry. In: KLEIN, Ursula. Ed. **Tools and modes of representation in the laboratory sciences**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001.

_____. **Chemical structure, spatial arrangement: the early history of stereochemistry 1874-1914**. Hampshire: Ashgate, 2003. 399p.

RAMBERG, P. J.; SOMSEN, G. J. The Young J. H. van 't Hoff: the Background to the Publication of his 1874 Pamphlet on the Tetrahedral Carbon Atom, Together with a New English Translation. **Annals of Science**, v. 58, n. 1, p. 51-74, 2001.

RAMSEY, J. L. Molecular shape, reduction, explanation and approximate concepts. **Synthese**, v. 11, n. 3, p. 233-251, 1997.

_____. Realism, essentialism, and intrinsic properties: the case of molecular shape. In: BHUSHAN, N.; ROSENFELD, S. **Of Minds and Molecules: new philosophical perspectives on chemistry**. New York: Oxford University Press, 2000, p. 117-128.

RAPPOPORT, L. T.; ASHKENAZI, G. Connecting Levels of Representation: emergent versus submergent perspective. **International Journal of Science Education**, v. 30, n. 12, p. 1585-1603, 2008.

ROBINSON, J. Two theories of representation. **Erkenntnis**, v. 12, n. 1, p. 37-53, 1978.

ROCKE. A. J. Kekulé, Butlerov, and the Historiography of the Theory of Chemical Structure. **The British Journal for the History of Science**, v. 14, n. 1, pp. 27-57, 1981.

_____. **The Quiet Revolution: Hermann Kolbe and the Science of Organic Chemistry**. Berkeley: University of California Press, 1993. 501 p.

ROJEK, P. Three Trope Theories. **Axiomathes**, v. 18, p. 359-377, 2008.

ROMERO, J. R. **Fundamentos de estereoquímica dos compostos orgânicos**. Ribeirão Preto: Holos, 1998, 108p.

SANTAELLA, L. **Semiótica aplicada**. São Paulo: Pioneira Thomsom Learning, 2005. 186 p.

SANTAELLA, L.; NÖTH, W. **Imagem: cognição, semiótica, mídia**. São Paulo: Editora Iluminuras Ltda, 2005. 222 p.

SANTOS, Flávia, M. T.; GRECA, Ileana M. Promovendo aprendizagem de conceitos e de representações pictóricas em química com uma ferramenta de simulação computacional. **Revista eletrônica de Enseñanza de las ciencias**, v. 4, n. 1, 2005.

SAUNDERS, S. Mirroring as an a priori symmetry. **Philosophy of Science**, v. 74, p. 452-480, 2007.

SCERRI, E. Reduction and emergence in chemistry—two recent approaches. **Philosophy of Science**, v. 74, p. 920-931, 2007.

SCHUMMER, J. The Chemical Core of Chemistry I: A Conceptual Approach. **International Journal for Philosophy of Chemistry**, v. 4, n. 2, p. 129-162, 1998.

SEIBT, J. Pure processes and projective metaphysics. **Philosophical Studies**, v. 101, n. 3, p. 253-289, 2000.

_____. **Process Theories: crossdisciplinary studies in dynamic categories** (Ed.). Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003. 313p.

SHARLOW, M. F. Chemical elements and the problem of universals. **Foundations of Chemistry**, v. 8, p. 225–242, 2006.

SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W. **Química Inorgánica**. São Paulo: Bookman, 2003. 816 p.

SILVA, Altiva Barbosa. A geopolítica alemã na república de Weimar. **Estudos Geográficos**. v. 1, n. 2, p. 1-15, 2003.

SOKOLOV, V. I. **Introduction to theoretical stereochemistry**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1991. 327 p.

SOLOMONS, G.; FRYHLE C. **Química orgánica**. v. 1. Rio de Janeiro: LTC, 2005. 768 p.

SPEK, T. M. Selling a theory: The role of molecular models in J. H. van't Hoff's stereochemistry theory. **Annals of Science**, v. 63, n. 2, p. 157-177, 2006.

SUÁREZ, M. Scientific representation: against similarity and isomorphism. **International Studies in the Philosophy of Science**, v. 17, n. 3, p. 225-244, 2003.

_____. Cassirer según Mormann: ¿Idealización o Abstracción? In. E. Txapartegi (ed.), **La Constitución de los Objetos en la Ciencia: Cualidades, Propiedades, Objetos**. Córdoba: Editorial Brujas, p. 123-134, 2005.

TOULMIN, Stephen. **La comprensión humana**. Madrid: Alianza Editorial, 1977.

TREAGUST, D; DUIT, R. NIESWANDT, M. Sources of students' difficulties in learning Chemistry. **Educación Química**, v. 11, n. 2, 2000.

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.

_____. Students' Understanding of the Descriptive and Predictive Nature of Teaching Models in Organic Chemistry, **Research in Science Education**, v. 34, n. 1, p. 1573-1898 , 2004.

VANDEWALL, H. Why water is not H₂O, and other critiques of essentialist ontology from the philosophy of chemistry. **Philosophy of Science**, v. 74, p. 906–919, 2007.

VYGOTSKY, L. S. The instrumental method in psychology. In: WERTSCH, J. **The concept of activity in soviet psychology**. New York: Sharpe, 1981.

_____. **The collected works of L. S. Vygotsky**: Child Psychology. V. 5. New York: Plenum Press, 1998.

VIGOTSKI, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 2007. 182 p.

WARTOFSKY, M. W. **Models**: representation and scientific understanding. London: D. Reidel Publishing Company, 1979. 390 p.

WEININGER, S. J. Butlerov's vision: the timeless, the transient, and the representation of chemical structure. In: BHUSHAN, N.; ROSENFELD, S. **Of Minds and Molecules**: new philosophical perspectives on chemistry. New York: Oxford University Press, 2000, p. 143-161.

WERTSCH, J. **Vygotsky y la formacion social de la mente**. Barcelona: Paidós, 1988.

WIBERG, K. Strain, structure, stability and reactivity, **Foundations of Chemistry**, v. 6, n. 1, p. 65–80, 2004.

WILLIAMS, D. C. The Elements of Being. **Review of Metaphysics**, vol. 7, pp. 3–18, 1953.

WU, H-K; KRAJCIK, J. S.; SOLLOWAY, E. Promoting understanding of chemical representations: Students use of a visualization tool in the classroom. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 38, n. 7, p. 821-842, 2001.

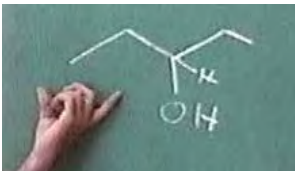
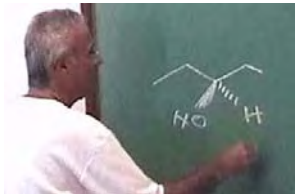

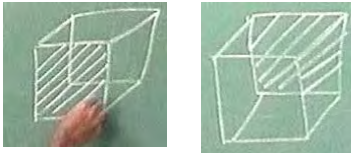
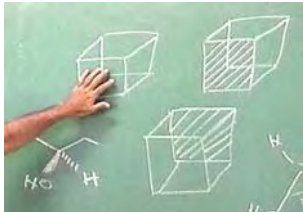
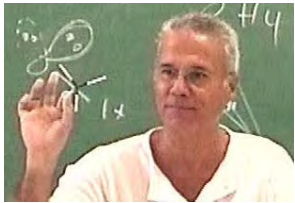
WU, H-K; SHAH, P. Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. **Science education**, v. 88, n. 3, p. 465-492, 2004.

YARROCH, W. L. Student understanding of chemical equation balancing. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 22, n. 5, p. 449-459, 1985.


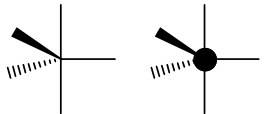
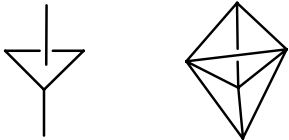




ZEMACH, Eddy. Four ontologies. **The Journal of Philosophy**, v. 67, n. 8, p. 231-247, 1970.

APÊNDICE A – Quadros dos Episódios Analisados

Episódio 01 (QGE-22032006-08 – Ver no espaço)

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) Isto aqui só escrito desse jeito já não basta mais pra gente ta, agente tem que olhar pra isso tridimensionalmente.</p> <p>2 (P) Ó, eu tenho que dizer que este OH está pra frente e este hidrogênio está pra trás. Certo?</p> <p>3 (P) Se você vier pra cá você dá uma cabeçada nele, mas se você vier pelo outro lado você não vai dar cabeçada nele, vai dar cabeçada no hidrogênio.</p> <p>4 (P) Você tem que ser capaz de olhar para isso aqui... ta... e ver... uma hidroxila pra frente e um hidrogênio pra trás. Está escrito em 2D, como é que você treina isso? Muito fácil.</p>	<p>Mostra uma representação em bastão no quadro sem a estereoquímica do carbono estereogênico, em seguida apaga as ligações nessa mesma representação e representa com cunha uma estereoquímica para os ligantes.</p>	 
2	<p>5 (P) Faça isso, faça isso aqui, bom exercício esse aqui, você vê tridimensionalmente.</p> <p>6 (P) É um cubo, certo? Qual é a face que está para frente?</p> <p>7 (A) Depende.</p> <p>8 (P) Depende. Depende de como você estiver olhando ele.</p>	<p>Vai ao quadro e desenha um cubo.</p>	
3	<p>9 (P) desse jeito que ta cá você pode botar duas faces pra frente de um jeito ou de outro.</p> <p>10 (P) Você pode olhar para esse cara e ver isso aqui ó. A face da frente é essa. Certo? Ou...</p> <p>11 (P) A face da frente é essa. Ou o cubo está virado pra cá ou o cubo está virado para cima. Certo?</p> <p>12 (P) Só que tem que eu quero o seguinte: que você olhe para este aqui, sem nada marcado, olhar para ele, colocar essa face na frente e a de trás. E agora você colocar essa face aqui na frente e ver ele ao contrário, num ele ta subindo noutra ele ta descendo, certo?</p> <p>13 (P) Isso é que é ver no espaço.</p>	<p>Volta ao quadro e desenha um cubo destacando uma face virada para frente da turma.</p> <p>Retorna ao quadro e desenha outro cubo achurando a face oposta a do cubo anterior.</p>	 
4	<p>14 (P) Se você consegue enxergar isso aqui, colocar sua visão em profundidade para colocar esse na frente e o resto pra trás ou colocar esse pra frente e o resto pra trás, você já teve um grande menudo para enxergar uma molécula no espaço ta? Ficar olhando isso assim e ver ele se mexer, opa pulou pra frente, opa agora ta pra trás. Você vai mexendo com ele, ta? Então dá pra você treinar pra você poder enxergar. É fundamental que você veja tudo isso que está aqui desse jeito que está aqui.</p>	<p>Conversa com os alunos sobre o exercício de colocar ver a face do cubo para frente ou para cima.</p> <p>Ao final pega um modelo material de varetas na forma traédrica para indicar o jeito como devem ser vistas todas as representações gráficas postas no quadro.</p>	

Episódio 02 (IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e varetas)

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) Bom... é... então vamos continuar com o número de coordenação. O número de coordenação cinco quais seriam as estruturas, lembrando aí o que vocês já viram na primeira inorgânica, quais seriam as estruturas possíveis ou os poliedros possíveis para número de coordenação cinco? O que vocês me dizem?</p> <p>2 (As) Bipirâmide trigonal.</p> <p>3 (P) Bipirâmide trigonal. Como é que agente representa isso? Tá certo? Bipirâmide trigonal. E a outra? Aqui agente tem o centro metálico, não é assim?</p> <p>4 (P) Agente pode também... representar isso... da seguinte maneira, vocês vão encontrar essa forma. Vocês podem também encontrar um poliedro desenhado, sempre lembrando que o centro metálico se encontra no centro desse poliedro. Tá Certo? E a outra possibilidade?</p> <p>5 (P) A pirâmide de base quadrada, ou a pirâmide quadrática né? Isso daqui... o centro metálico taria aqui. Agente pode representar isso dessa forma... tá certo?</p>	<p>Professor usa diferentes ferramentas gráficas para representar os poliedros que correspondem ao número de coordenação cinco. Sua ação de desenhar no quadro é alternada por perguntas aos alunos.</p>	   
2	<p>6 (P) OK ... vamos montar as duas estruturas ... para vocês verem. Aqui, monte por favor a pirâmide de base quadrática ou a pirâmide quadrática. Monta para mim por favor a bipirâmide trigonal.</p> <p>7 (P) Então... essa aqui é a pirâmide de base quadrática... né? Vamos esperar pela bipirâmide trigonal.</p>	<p>Sai do quadro, vem na direção da mesa, pega partes da ferramenta material de varetas, entrega para dois alunos montarem as estruturas. Os alunos vão montando as estruturas usando as ferramentas materiais fornecidas pela professora.</p>	
3	<p>8 (P) Então gente ... essa é a representação que agente tá vendo aqui no quadro ... né ... agente pode alinhar assim ... isso vem para frente, eu represento assim ... esse ligante tá para trás, igualzinho na química orgânica.</p> <p>9 (P) Aqui ... ôpa ... a mesma coisa ... isso aqui está representado assim.</p> <p>10 (P) Mas, eu podia ter colocado ela assim ó... não podia? É a mesma coisa.</p>	<p>De posse das representações montadas pelos alunos na ferramenta material (varetas), vai até o quadro e inicia comparações entre as duas ferramentas (gráfica e material).</p>	  

- 4 11 (P) Olha como que elas são semelhantes ... qual é a diferença?

12 (As) Os ângulos.

13 (P) Esses ângulos aqui ó ... aqui agente tem ângulo de 90 ... ângulo de 90 e ângulo de 180 ... veja aqui. Então agente põe aqui ... esses três ângulos são de 120 ... e aqui agente tem ângulos de 90 e um ângulo de 180

Movimenta-se para perto da turma e mostra as duas ferramentas materiais, enfatizando semelhanças. Modifica o ângulo de apresentação para a turma ao abaixando as duas ferramentas, privilegiando a visualização das semelhanças putativas.




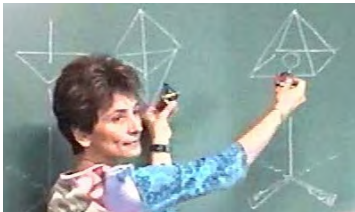



- 5 14 (P) Então para vocês irem de uma estrutura dessa, para uma estrutura dessa é muito fácil ! Vocês concordam? Basta esses dois ângulos se afastarem.

15 (P) Qual é a di... Vocês vêem a questão da representação, se eu coloco isso dessa forma vocês não VÊEM uma correlação automática entre as duas estruturas, mas basta vocês representarem assim desse modo diferente que aqui ó ... alinhando esse eixo aqui ... olha ...






Retorna ao quadro para realizar nova comparação entre a ferramenta material e a ferramenta gráfica para uma mesma simetria (piramidal quadrática). Volta para próximo da turma e alinha as duas ferramentas materiais provocando novamente os alunos para a visualização das semelhanças em relação a um eixo comum das duas representações.




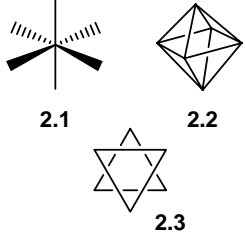




Episódio 03 (IQC-05052006-04 – Poliedros do NC=5 com ferramentas gráficas e magnetix®)

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) Vocês montaram... (risos)... não é bem isso.</p> <p>2 (P) Não sabe brincar não... deixa eu ver...ah vocês sabem brincar com esse brinquedinho.</p> <p>3 (P) Aqui ó... muito bem. Pirâmide de base quadrática.</p>	<p>Professora pede que alunos montem os poliedros correspondentes ao número de coordenação cinco usando a ferramenta material magnetix®. Após algum tempo os grupos entregam as montagens. A professora percebe que uma montagem está incorreta e brinca com o grupo.</p>	 <p>Pirâmide quadrática Bipirâmide Trigonal</p>
2	<p>4 (P) Então, esse brinquedinho agente brinca assim: cada esfera representa um ligante. Então, esse brinquedinho permite agente representar o poliedro definido pelos ligantes, vocês estão vendo aqui ó.</p> <p>5 (P) Que é essa representação aqui gente.</p>	<p>Enquanto fala, a professora segue montando o poliedro que um dos grupos não havia conseguido montar (bipirâmide trigonal). Em seguida, vai ao quadro e compara as ferramentas materiais com as ferramentas gráficas no quadro, colocando uma sobre a outra.</p>	
3	<p>6 (P) Bom, eu mostrei para vocês usando esses esqueminhas aqui (ferramentas materiais em bastão) como essas duas estruturas são semelhantes, e agora agente vai ver como é que essas duas estruturas de fato são semelhantes.</p> <p>7 (P) Veja aqui se eu aproximar esse dois ligantes... aqui eu vou ter a mesma estrutura.</p>	<p>A professora pega a ferramenta material que corresponde ao poliedro pirâmide quadrática e faz um movimento de aproximação de duas esferas metálicas opostas da base da pirâmide (observe na seqüência 1-2-3 ao lado), destacando esse movimento para a turma com o braço para cima.</p> <p>Em seguida a professora pega a outra ferramenta material, montada pelos alunos com a forma bipiramidal trigonal, e compara com a que foi produzida com o movimento das esferas a partir da forma piramidal quadrática, colocando-as uma ao lado da outra.</p>	  <p>(1) (2) (3)</p> 

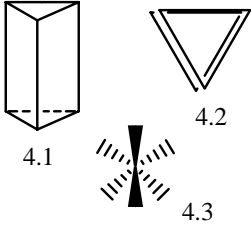





Episódio 04 (IQC-05052006-04 – Pseudorotação de Berry)

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) Então o que acontece, essa estrutura está sempre fazendo assim ó...</p> <p>2 (P) Então ó, o que agente tem aqui, vocês podem imaginar uma interação com uma distância pequena de ligação entre essa duas, esses dois átomos, isso aqui pode se abrir e depois a ligação pode se fazer entre esses dois que dão uma bipirâmide trigonal.</p>	Movimenta a ferramenta material e mostra a oscilação entre as duas formas estruturais, abrindo e fechando a ferramenta. Por meio desse uso procura representar a conversão de uma pirâmide de base quadrática em bipirâmide trigonal.	 
2	<p>3 (P) Se isso acontecer o tempo todo vocês tem o rearranjo das carbonilas ali, os ligantes CO, e vocês não conseguem à temperatura ambiente ver os dois tipos de carbonila que são as duas carbonilas axiais e as três carbonilas equatoriais que deveriam ser diferentes né.</p>	Usa a ferramenta material para indicar as carbonilas axiais e equatoriais pelo modo como segura a ferramenta, usando o polegar e o indicador.	
3	<p>4 (P) Quando eu falo ver quer dizer usar uma técnica espectroscópica que permita enxergar, ver, diferenciar, ou ver mesmo as duas estruturas separadas. Para agente fazer isso agente tem que baixar a temperatura, até chegar numa temperatura tal que a energia de ativação para que esse processo ocorra não seja mais fornecida por KT.</p>	Mantém a ferramenta material nas mãos e esclarece o sentido do termo "ver". Usa gestos para tratar de níveis de energia e aponta para o quadro com relação à energia de ativação.	
4	<p>5 (P) Isso daqui é muito conhecido para compostos de número de coordenação cinco, esse rearranjo entre bipirâmide trigonal e pirâmide de base quadrada, e se chama pseudorotação de Berry.</p>	Como fechamento desta seqüência indica que este processo é conhecido como pseudo rotação de Berry.	

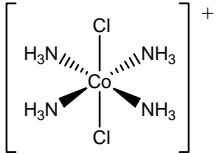
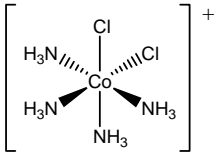
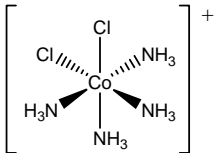
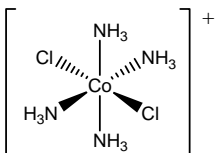



Episódio 05 (IQ-05052006-05) – Representações para a estrutura octaédrica

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) Número de coordenação seis, quais seriam as estruturas que vocês poderiam esperar? Agente trabalhou na última aula ... é... a questão histórica, eu mostrei para vocês Como Werner chegou à conclusão que as cobalaminas tinham arranjos de ligantes o que? Como é que era o arranjo dos ligantes nas cobalaminas do Werner?</p> <p>2 (As) Octaédrico.</p> <p>3 (P) Octaédrico. Então, arranjo octaédrico ou estrutura octaédrica. E nós vimos que a outra estrutura possível, que ele tinha proposto era a estrutura prismática trigonal</p>	<p>Discursiva. Escreve os nomes octaédrico e prismático trigonal em dois pedaços do quadro, preparando locais para indicar as representações.</p>	
2	<p>4 (P) Como é que agente representa essas estruturas? Então vamos lá de novo, agente pode representar... dessa forma, eu acho que essa é a forma que vocês melhor conhecem. Agente pode representar dessa forma. Que mais? Agente pode representar assim.</p>	<p>Enquanto pergunta aos alunos desenha três formas de representar a estrutura octaédrica no quadro.</p>	
3	<p>5 (P) O que eu estou fazendo aqui? Aqui eu dou preferência a minha representação em que eu olho, em que eu alinho meu eixo C4, aqui, né, esse é o meu eixo C4. Alinho aqui, represento assim, ou represento assim, tanto faz né.</p>	<p>Pega a ferramenta material de varetas e coloca na frente da representação gráfica feita no quadro. Mostra a ferramenta material para os alunos destacando a escolha visual do eixo C4.</p>	
4	<p>6 (P) O que eu estou vendo aqui gente, o que eu estou representando aqui? Aqui eu estou representando a minha visão do eixo C3 aqui, vocês concordam comigo? Ó, eu tenho um triângulo aqui, nesse primeiro plano, e tenho outro triângulo aqui, vocês concordam comigo?</p>	<p>Pega a ferramenta material de varetas e coloca na frente da representação gráfica feita no quadro</p>	
5	<p>7 (P) Agente pode ver isso dessa forma também ó. Mais claro? Um triângulo aqui é outro triângulo atrás. Então eu estou vendo isso no eixo C3, né? Enquanto que aqui é o meu eixo C4, né?</p>	<p>Pega uma ferramenta material feita com bolas de ping-pong e usa para explicar a representação gráfica (2.3). Confronta com ferramenta material de varetas.</p>	
6	<p>8 (P) Esse aqui é o eixo C4, que eu repito a minha estrutura quando eu giro nesse eixo em 90 graus. Eixo C4... (aluno tossindo dificuldade de entender) 360 dividido por 4. E aqui eixo C3 porque eu vou repetir minha estrutura quando eu for girando de 360 sobre 3 que é 120, né? Então essa é uma possível estrutura, e a outra? Deixa eu montar meu octaedro. Então, tá aqui o octaedro, opa está faltando uma aresta do octaedro.</p>	<p>Usa a ferramenta material de varetas para mostrar as rotações nos eixos.</p>	

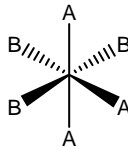
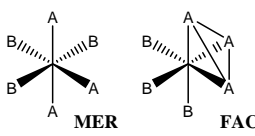




Episódio 06 (IQC-05052006-05) – Representações para a estrutura prismática trigonal

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) E o prisma trigonal, como é que eu represento? Aí (aluna) monta um prisma trigonal para mim (risos).</p> <p>2 (A) Tem certeza?</p> <p>3 (P) Tenho certeza sim! Vamos ver se você aprendeu, você vai precisar de mais três (peças)... aqui.</p> <p>4 (P) Como é que eu represento esse prisma trigonal? Então...né.</p>	<p>Pede que uma aluna monte a estrutura prismática trigonal. Desenha representações gráficas para a estrutura prismática trigonal no quadro.</p>	
2	<p>5 (P) Concordam comigo aqui, os dois para frente, ta aqui os dois para frente, e... os quatro para trás, e aqui o centro metálico. Agente nunca encontra assim, essa representação, normalmente agente encontra essa representação que é mais fácil de visualizar.</p>	<p>Compara as representações gráficas, destacando a correspondência entre os elementos gráficos de cada uma delas.</p>	
3	<p>6 (P) Conseguiu?</p> <p>7 (A) Nada, não sei como faz para montar! (risos).</p> <p>8 (P) Ó, vamos tirar aqui, aqui, certo? Aqui o prisma.</p>	<p>Dirigi-se à aluna construindo a representação na ferramenta material. Professora refaz a montagem realizada pela aluna e apresenta para o grupo.</p>	
4	<p>9 (P) Como é que eu posso relacionar o prisma com o octaedro. O que eu estou fazendo quando faço isso aqui, estou aproximando os ligantes.</p>	<p>Com a ferramenta material na mão, modifica a estrutura originalmente prismática trigonal para uma forma octaédrica, girando um plano da peça.</p>	
5	<p>10 (P) Em outras palavras o espaço que eu tenho aqui dentro do meu octaedro é menor que o espaço que eu tenho dentro... essa cavidade deixada pelos ligantes empacotados na forma prismática trigonal é maior do que o espaço deixado quando eu tenho o empacotamento na forma octaédrica</p>	<p>A partir da nova forma na ferramenta material, monta as peças que faltam para fazer a correspondência com a estrutura octaédrica.</p>	
6	<p>11 (P) Talvez agente veja melhor aqui ó, aqui o octaedro. Se vocês colocam assim é o prisma trigonal, vocês conseguem ver ó, o espaço deixado é muito maior.</p>	<p>Usa uma outra ferramenta material feita de bolas de tênis de mesa para apresentar a forma octaédrica. Roda uma das camadas de bolas de tênis de mesa que compõem a ferramenta material e modifica a estrutura para a forma prismática trigonal.</p>	


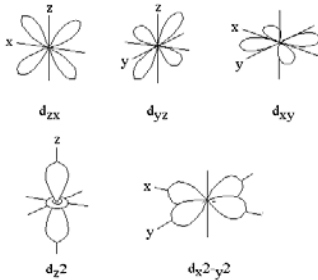
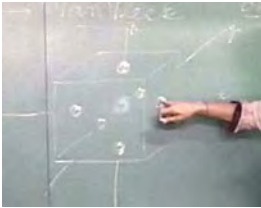



Episódio 07 (IQC-05052006-10) – Isomeria CIS TRANS em complexos octaédricos.

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p><u>1</u> (P) Vamos dar o exemplo aqui no caso dos complexos octaédricos, de isômero cis e de isômero trans, as cobalaminas mesmo que agente viu. Qual é esse isômero gente, e aí? Qual é esse isômero?</p> <p>2 (A) Trans.</p> <p>3 (P) Trans. Sem problema!</p>	Desenha no quadro representações de complexos octaédricos com isomerias cis e trans.	
2	<p><u>4</u> (P) Qual é esse isômero aqui? Façam esses desenhos para irem se acostumando. Opa desculpe isso daqui é +1, dois Cl menos, o cobalto é 3+. Esse daqui é o isômero cis.</p>	Desenha no quadro representações de complexos octaédricos com isomerias cis e trans.	
3	<p><u>5</u> (P) E se eu colocar esse cloro, ao invés de colocar ele aqui eu colocar ele aqui?.</p> <p><u>6</u> (A) Cis.</p> <p><u>7</u> (P) Hein, também é cis.</p>	Desenha no quadro representações de complexos octaédricos com isomerias cis e trans.	
4	<p><u>8</u> (P) E se eu colocar esse cloro aqui, também é trans.</p>	Desenha no quadro representações de complexos octaédricos com isomerias cis e trans.	
5	<p><u>9</u> (P) O que eu estou querendo dizer com isso gente, é o seguinte, tanto faz eu olhar minha estrutura desse jeito, desse jeito, desse jeito, é sempre cis.</p>	Usa a ferramenta material de varetas, faz movimentos com ela, colocando-a em diferentes posições para indicar que se trata do mesmo objeto.	
6	<p><u>10</u> (P) Ou vocês tem os dois ligantes vizinhos de noventa graus, ou vocês tem os dois ligantes afastados de 180 graus, e aí tanto faz vocês olharem assim, assim, assim, vocês concordam comigo?</p>	Usa a ferramenta material de varetas segurando as varetas correspondentes aos ligantes cloro para assinalar os ângulos (90 ou 180 graus) entre eles, nos casos cis e trans.	
7	<p><u>11</u> (P) Isso é importante porque na hora que vocês vão representar, aí eu dou uma molécula e peço assim: representem todos os isômeros. Surgem quinhentos milhões de isômeros o pessoal coloca as moléculas...</p> <p><u>12</u> (P) Isso é igual a isso que é igual a isso que é igual a isso, concordam? Ta bom.</p>	Usa a ferramenta material de varetas para mostrar a relação de identidade entre os objetos, modificando sua posição no espaço.	

Episódio 08 (IQC-05052006-11) – Isomeria FAC e MER em complexos octaédricos MA_3B_3 .

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) E se eu tiver MA_3B_3, e agora? Um exemplo é esse aqui ($[CoCl_3(NH_3)_2]$). E agora? Quantos isômeros eu vou ter? Essa situação aqui eu tenho dois ligantes A, que são os cloros trans, um com relação ao outro, e um ligante A... o que?</p> <p>2 (A) Cis</p> <p>3 (P) Cis com relação a ambos.</p>	Escreve no quadro enquanto fala. Faz a representação de uma estrutura octaédrica para a forma MA_3B_3 , propondo uma situação de isomeria MER.	
2	<p>4 (P) E aqui? Os três ligantes A são cis, um em relação ao outro... nesse caso. Eles estão na face triangular do octaedro.</p>	Continua no quadro desenhando uma outra situação também em um octaedro da forma MA_3B_3 , agora propondo uma situação de isomeria FAC	
3	<p>5 (P) Olha aqui, concordam? Essa face triangular aqui. Posso desenhar ele assim, posso desenhar ele assim, assim, tanto faz. Como é que se chama esse isômero? Esse isômero se chama facial, o isômero FAC. Facial.</p>	Vai na direção da mesa e monta uma estrutura octaédrica na ferramenta material de varetas, mostra aos alunos a situação FAC.	
4	<p>6 (P) E esse daqui como é que agente, qual vai ser o nome dele? Esse isômero é o MER, meridional, ô, é como isso aqui é o meridiano, imagina aqui um globo, isso aqui não é o meridiano. Aqui o pólo norte, aqui o pólo sul</p> <p>7 (A) Os dois são cis?</p> <p>8 (P) Meridiano de Greenwich, isso é para vocês lembrarem. O esse é o MER... tá, meridional.</p> <p>9 (A) Mas os dois são cis?</p> <p>10 (P) Como assim os dois são cis? Os dois são cis um com relação ao outro. Esse é cis com relação a esse e esse é cis com relação a esse, mas esses dois são trans.</p> <p>11 (A) Valeu.</p>	Usa a ferramenta material para explicar a questão geométrica que envolve os isômeros MER. Responde à pergunta de um aluno.	
5	<p>12 (P) Ai a diferença. Posso representar assim também. Posso representar assim também.</p>	Contrapõe a ferramenta material com a representação gráfica no quadro, mostrando diferentes possibilidades de representação em relação às posições dos ligantes, mas que levam ao mesmo objeto.	
6	<p>13 (P) Então vocês podem ver que eles têm, os ligantes B e os ligantes A, têm a mesma disposição trans, cis com relação a isso. E aqui a mesma coisa, esses ligantes são trans com relação a todos os Bs, os As são trans com relação a todos os Bs.</p>	Usa o modelo material para explicar a disposição dos ligantes nos casos da isomeria MER e retorna ao quadro para usar a representação gráfica para explicar a isomeria MER.	








Episódio 09 (IQC-12052006-03) – TCC – Campo octaédrico e orientações de orbitais d.

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) Se agente for primeiro considerar um complexo octaédrico, como é que eu acho a melhor maneira de representar o complexo octaédrico, da seguinte forma. Então aqui eu tenho meu eixo x, y, e z. Orientei aqui meus eixos x, y e z em um cubo. No centro, onde os eixos se encontram, no zero eu coloco meu átomo metálico.</p> <p>2 (P) Esse átomo metálico que eu estou analisando aqui, os orbitais de fronteira dele são esses daqui, então, agente pode imaginar esses orbitais orientados direitinho aqui, segundo os eixos x, y e z. Vocês conseguem transpor de lá para cá.</p> <p>3 (P) Que tipo de interação agente espera quando agente aproxima seis ligantes dos eixos x, y e z. Ai vocês podem ver aqui que os ligantes, primeiro eu vou considerar ligantes iguais, seis cargas pontuais negativas, elas estão localizadas nas faces do cubo.</p>	<p>Enquanto fala desenha no quadro um cubo para representar o campo em um complexo octaédrico.</p> <p>Referindo-se às representações dos orbitais d que havia feito previamente e que estão ainda no quadro ao lado do cubo (evento 2 da mesma aula).</p> <p>Representa os ligantes como pontos nas faces do cubo que representa o campo cristalino.</p>	  
2	<p>4 (P) Agora, na verdade, essa carga que se aproxima, esses ligantes que se aproximam, eles não se aproximam como uma carga esférica como uma casca de uma laranja, não, eles se aproximam em pontos bem definidos, que são segundo os eixos x, y e z.</p>	<p>Usa ferramentas representadas no quadro para marcar a forma de aproximação dos ligantes.</p>	
3	<p>5 (P) Então agora nós precisamos de ver como é que esses elétrons d sentem a aproximação dessas cargas pontuais. Eu tenho, eu disse pra vocês dois tipos de orbitais que quando agente ta numa molécula octaédrica, agente diz que é um campo octaédrico de ligantes. Eles são divididos em dois tipos, com nomes bem definidos: eg e t2g, isso quer dizer, na teoria de grupo "t" quer dizer triplamente degenerado e "e" quer dizer duplamente degenerado. Eles tem a mesma energia, vamos ver se isso é verdade?</p> <p>6 (P) Quando eu aproximo seis ligantes como é que esses elétrons vão sentir, quem é que vai sentir mais o efeito dos ligantes? Os eg ou os t2g?</p> <p>7 (A1) eg!</p> <p>8 (P) Eu estou aproximando os ligantes nos eixos xyz. No caso do eg eu tenho densidade eletrônica nos eixos xyz, enquanto nesse caso eu tenho densidade eletrônica entre os eixos. AO APROXIMAR os ligantes quem vai sentir mais... o eg, então ó os elétrons eg vão sentir muito mais os efeitos dos ligantes do que os t2g vocês concordam coimigo?</p>	<p>Aponta para as representações dos orbitais d desenhados anteriormente para representá-los em função da classificação do campo cristalino.</p> <p>Procura interagir com os alunos, mas apenas um responde.</p> <p>Procura relacionar a representação da densidade dos orbitais com o diagrama de energia dos orbitais degenerados. Movimenta-se na frente do quadro entre o diagrama e a representação dos orbitais enfatizando a relação entre eles.</p>	 

9 (P) Então o que vai acontecer aqui esses orbitais d vão se desdobrar de tal modo que os t_{2g} são estabilizados com os e_g , então esses três sentem o efeito do ligantes da mesma maneira, por isso eles são degenerados, e esses dois sentem o efeito dos ligantes da mesma maneira, por isso eles são degenerados, degenerados quer dizer mesma energia.



Episódio 10 (QGE-29032006-02) – Planos de simetria do norbornano.

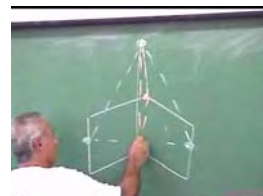
S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) Olha lá, esse... é isso aqui, certo. Então vamos nós, vou pegar aqui meu plano, vou pegar aqui meu... eixo aqui ó. Pegar aqui meu eixo, certo. Quantos planos tem isso aqui?</p> <p>2 (A) Quatro.</p> <p>3 (P) Quatro? Quatro planos tem aqui? Eu estou achando dois. PLAANOO!</p> <p>4 (A) Dois.</p> <p>5 (P) Dois ou quatro?</p>	<p>Faz a representação gráfica do norbornano, em bastão, no quadro. Identifica-a com a representação da ferramenta material na mão.</p>	 
2	<p>6 (P) Um aqui, que corta aqui, certo? E outro que corta aqui, cadê os outros dois?</p> <p>7 (A1) Eu estava considerando se eu mudasse a direção. Na diagonal não corta não?</p> <p>8 (A2) Na diagonal não ficaria não?</p> <p>9 (P) Diagonal? Quer fazer um negócio aqui assim.</p> <p>10 (A2) É.</p> <p>11 (P) Nesse ponto aqui não tem ninguém do lado de lá. Se eu passar uma diagonal aqui ó... não tem não.</p>	<p>Usa a ferramenta material todo o tempo para sua explicação. Usa folhas de papel como planos, mas também seus braços.</p>	 
3	<p>13 (A3) (Faz um gesto indicando como poderia ser uma outra diagonal).</p> <p>14 (P) Quer passar aqui? É gostei! (analisa a ferramenta material)</p> <p>15 (A1.) É sim, é sim, é sim.</p> <p>16 (A2) Claro que é.</p> <p>17 (P) Sabe que qu não sei, deixa eu analisar. Espera aí deixa eu pensar!</p> <p>18 (A1) O plano tem que ser um quadrado?</p> <p>19 (P) O plano não pode ser torto. Deixa eu ver, acho que não é não. Não é não. Se eu passar aqui... não é não.</p> <p>20 (A1) É sim.</p> <p>21 (P) Não é não, de jeito nenhum. Claro que não é.</p> <p>22 (A4.) Por que não é?</p> <p>23 (P) Bota um espelho aqui veja se você vê essa ponta aqui lá do outro lado. (vários alunos insistem agora). Vê nada. Assim não dá mesmo. Essa ponta aqui, essa que eu estou com a minha mão segurando, tá aqui ó.</p> <p>24 (A4.) Ah tá, é verdade (vários alunos concordam).</p> <p>25 (A5.) Eu não entendi!</p> <p>26 (P) Aqui ó, você senta lá... está no lugar errado. Aqui ó, essa ponta que eu to segurando aqui, eu estou refletindo aqui.</p>	<p>Usa a ferramenta material todo o tempo, procura fortalecer sua explicação com a ferramenta gestual, usando o rosto para indicar as posições do rebatimento em relação ao plano, enquanto segura a ferramenta material com as mão, juntamente com a folha de papel (que representa o plano em questão).</p>	  

27 (A5) Ah ta saquei!

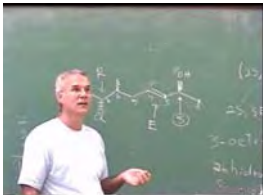
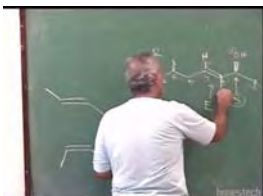
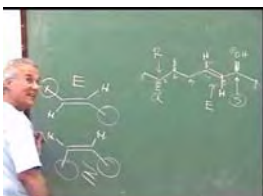
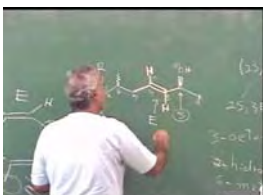
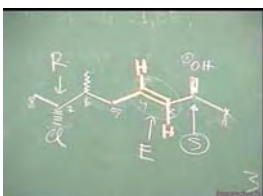
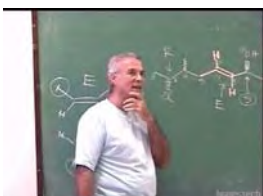
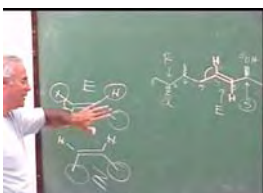
28 (P) Pensei que eu não sabia mais!

- 4 29 (P) Dois planos, certo? Tem um que corta aqui, tem um que corta aqui. Eixo?
- 30 (P) Então olha só, vamos voltar para cá. Eu tenho um plano que passa aqui ó, certo? E eu tenho um outro plano que passa aqui ó. Um é esse e o outro é esse aqui, certo? Eixo?

Volta-se à representação gráfica do norbornano no quadro. Desenha os dois planos de simetria que foram objeto de discussão no episódio.



Episódio 11 (QGE-10052006-02) – Função da base normativa – isomeria CIS TRANS.

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (A1) Não consegui ver por que é E.</p> <p>2 (P) Por que é E? Mas isso é tão fácil!</p> <p>3 (A1 e A2) (Fazem comentário sobre o problema entre si que não é possível entender).</p> <p>4 (P) Certo? (desenha no quadro padrões de ligantes CIS e TRANS). São as duas possibilidades aqui. Lembra que aqui tem um hidrogênio, e que aqui tem um hidrogênio, certo?</p> <p>5 (P) Entre esse e esse, ganhou esse. E entre esse e esse ganhou esse, certo? Esse aqui é E entgegen, zusammen. Esse aqui é E e esse aqui é Z, certo?</p>	<p>Usa a representação que já estava desenhada no quadro para uma primeira abordagem explicativa. Não havendo sucesso desenha uma representação gráfica detalhando ligantes E e Z em duas estruturas com ligações duplas.</p>	  
2	<p>6 (A1) Eu não estou vendo essa molécula.</p> <p>7 (P) Não tá vendo essa molécula!</p> <p>8 (A1) Não, é por causa da dupla.</p> <p>9 (P) Vamos botar aqui um pedaço da molécula. Ta vendo? Continua com as pernas para um lado e para o outro, certo? Viu? Não.</p> <p>10 (A3) É porque uma está entrando e a outra está saindo, alguma coisa assim.</p> <p>11 (A1) Não. Porque olhando o desenho eu estou vendo que é entgegen...</p> <p>12 (P) Entrando e saindo, agora ficou difícil para mim, entrando e saindo da onde?</p> <p>13 (P) Está no PLAANNOO! Esta no plano do quadro. Você viu essa aqui. Então, essa aqui é igual ó. Não sei o que você não está vendo, você não está vendo alguma coisa!</p>	<p>Usa a representação gráfica para explicar a notação E e Z, para a definição da posição dos ligantes em relação à ligação dupla. Procura conseguir isso colocando ênfase em um pedaço da representação.</p>	  
3	<p>14 (A1) Não estou vendo porque não pode ser assim os dois para o mesmo lado.</p> <p>15 (P) Porque aí seria outra molécula. Aqui ó, aqui está um para cima e outro para baixo. Esse aqui ta assim, aquele ali... visto assim. O ângulo é o mesmo aqui, ó, ó. Só porque um ta assim o outro assim. Ta para cima e para baixo, se eu fizer assim ó, certo? Ta?</p>	<p>Usa ferramenta gestual para explicar a dúvida que permanece. Destaca por meio de gestos o deslocamento do ângulo da representação gráfica.</p>	

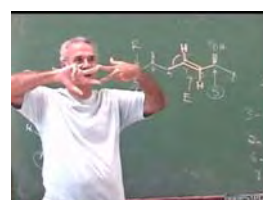
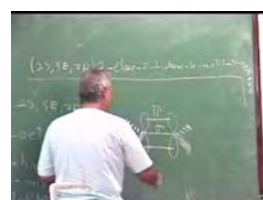
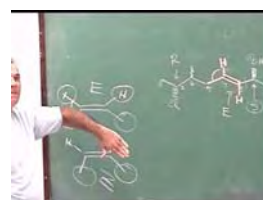
- 4 16 (A1) Professor, a A3. também não entendeu.
 17 (P) Não entendeu o que?
 18 (A3) Porque não pode colocar os dois hidrogênios para cima.
 19 (P) Porque será outra molécula.
 20 (A4) Por que a outra molécula não é essa?
 21 (A5) É por que a outra molécula não é essa? (Confusão na sala, vários alunos falam ao mesmo tempo).
 22 (P) Como é que é... shhh...
 23 (A5) Você colocou assim, um hidrogênio para cima e outro hidrogênio para baixo, é o que está ali.
 24 (P) Claro!
 25 (A5) Por que você não escolheu os dois hidrogênios para baixo?
 26 (A4) Porque ele escolheu essa molécula e não escolheu a outra.
 27 (P) Porque você não sabe o que é um carbono sp².
 28 (A6) É gente, porque tem um ângulo ali.
 29 (P) O problema é isso. Você não sabe o que é um carbono sp². Se você souber o que é um carbono sp², você não vai fazer essa pergunta por um motivo muito simples.

- 5 30 (P) Isso aqui é uma ligação pi e isso aqui é uma ligação sigma. Aquilo não roda! Você não pode rodar a ligação. A ligação está assim. Ela não roda. Aqui ó. Aqui ó. Hidrogênio aqui, hidrogênio aqui. Isso aqui NÃO MEXE! Você não pode pegar essa ligação aqui... tá e virar ela. Se eu botei hidrogênio aqui e hidrogênio aqui, EU NÃO TENHO COMO RODAR! Não dá para fazer isso. Dá, mas não assim, entendeu? A molécula é assim e acabou! Eu consigo inverter isso, fotoquimicamente eu inverte isso aqui, entendeu?. Eu abro boto meu orbital excitado e rodo ela, entendeu, mas assim não dá, a molécula é assim. A outra molécula...

A aluna retoma a pergunta e indica que outra aluna (ao seu lado) também não entendeu a situação. Retomam a pergunta. Os alunos contestam a resposta dada pelo professor e se inicia uma pequena confusão na sala. Alguns alunos querem entender a escolha do professor, uma vez que a resposta dada aposta em um argumento pragmático (escolha de um isômero). Contudo, o tipo de pergunta feita pelo aluno revela ao professor a necessidade de colocar em uso uma outra forma de representação, dado que ele percebe que a dúvida do aluno reside no conceito de hibridação.

Note-se que no turno seguinte o esclarecimento do professor volta-se para outro aluno (A15.), e não aquele que iniciou o diálogo deste episódio (A11.). Contudo, ele é pertinente porque (A11.) irá usar a representação derivada desta explicação para procurar esclarecer suas dúvidas.

Começa a explicação representando graficamente os orbitais em relação à ligação pi. Em seguida usa ferramenta gestual para tratar da mesma representação. Volta novamente para a representação gráfica no quadro para destacar a posição dos ligantes em relação à dupla.



6 31 (A1) Professor!

32 (P) Presente.

33 (A1) E como eu vou saber se não está entrando no plano?

34 (P) Eles estão no plano do quadro, aqui ó. Não tem para frente e para trás. Não tem para frente e para trás. Ele tá assim. Imagina que eu a densidade p aqui, tem um hidrogênio aqui, e outro hidrogênio aqui, se eu fizer assim... vou fazer aqui que ela enxerga melhor.

7 35 (P) To aqui certo, aqui eu sou...

36 (A1) P.

37 (P) Vou fechar aqui (as pernas) para não pensar que são dois. Assim, certo? Se eu deitar aqui, certo, a ligação ficou deitada e os dois estão nesse plano aqui, então roda aqui, ó, olha aqui, eu vou cair. Não tem, porque estou olhando em um plano só: isto, isto, isto, isto, isto e isto estão no mesmo plano. Aqui ó, isso, isso, isso e isso estão no mesmo plano. Não posso mudar de posição, tem que ter 120° ali.

Inicia um processo de representação com ferramenta gestual, no qual ele mesmo (professor) representa a "densidade p ". Faz gestos com os braços para conseguir a explicação e faz inclinação do seu corpo para indicar a posição da ligação dupla.

Retorna para a representação gráfica, para assinalar os entes que estão no mesmo plano. Confronta uma representação gráfica com outra no quadro.

8 38 (A1) Bom, um tá entrando e outro tá....

39 (P) Não tem entrando e saindo!

40 (A1) Como não, se ali tem uma cunha e tem os tracejados?

41 (P) Que cunha?

42 (A1) No carbono, no carbono sp^2 ...

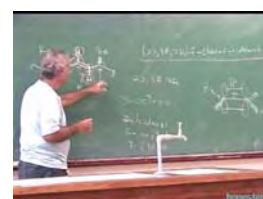
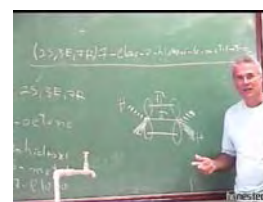
43 (P) Aqui?

44 (Vários alunos) Ali, na densidade, no desenho, do lado, do lado.

45 (P) Hã?

46 (A1) Então aí você fez um carboninho meu amor...

A dúvida persiste. A aluna situa sua dificuldade na relação entre duas representações gráficas que considera em conflito. Indica os elementos gráficos das representações que considera em conflito (cunha, tracejado). O professor retoma uma explicação, retoma também uma ferramenta gestual, agora ao lado da representação gráfica que a aluna indica possuir elementos em conflito.



47 (P) Sim, porque eu botei a ligação assim. Se eu pegar isso aqui e colocar isso aqui virado para frente, esses dois aqui ficam colados aqui!

48 (A2) Ah, agora entendi.

49 (P) Certo? Eu estou fazendo isso, aqui é planar, eu estou botando os dois encostados no plano.

9 50 (A1) Tá isso eu entendi, e por que aquele H você botou... na densidade, antes de você virar e botar no mesmo plano, ali o H tá na cunha e não está no tracejadinho daquele lado?

51 (P) Que cunha? Aqui para frente? Porque eu que não quis!

52 (A1) Ah, porque você não quis! Ah, essa é que é a resposta! Isso é que eu queria saber!

53 (P) Por que o outro... se eu colocar isso aqui para trás...

54 (A2) A molécula vai ser diferente.

55 (P) Se eu colocar ele para trás a sua molécula seria essa, aqui ó... eu decidi que era isso... a molécula vai ser essa. Aqui ó, a molécula era outra, inclusive o nome era outro, ao invés de 3E, ia ser 3Z.

56 (A1) Era isso que eu queria entender!

58 (P) Mas eu que resolvi que era essa. Não tem como ficar mechendo de um lado para o outro, ligação dupla você não rompe.

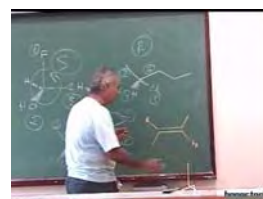
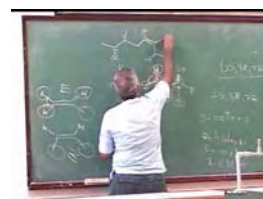
10 59 (A1) Eu tinha colocado os dois para cima, mas falei assim, uê...

60 (P) Não, se você colocar os para cima está errado. Se você colocar esse hidrogênio aqui pra cima tá errado. Por um motivo muito simples.

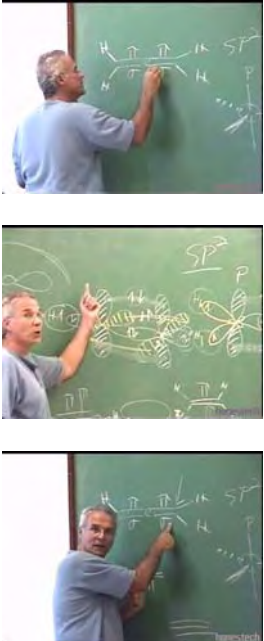


61 (A1) Pelo carbono...(procura justificar sua escolha, mas não dá para ouvir pois a essa altura há muita conversa paralela na turma, ou seja, perto do microfone da câmera)

62 (P) Tá errado.




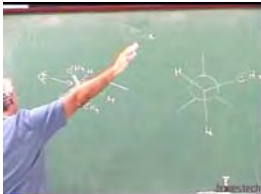



63 (P) Aqui ó, certo? Se você pegar isso aqui e colocar aqui tá errado! A geometria tá errada. Você tem que ver a geometria, a geometria tá errada, certo?



Episódio 12 (QGE-26042006-05) – Geometria e orbitais no caso dos alenos.

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) Você desenhar isso aqui, carbono, hidrogênio, hidrogênio, hidrogênio, hidrogênio. Fica muito fácil você fazer isso. Pra alguém ter, ó, pi, pi, sigma e sigma, ta, o que este carbono está fazendo? Duas ligações pi, duas ligações sigma, certo? Para ele fazer duas pi, uma para um lado e uma para o outro, não tem que ser tudo para o mesmo lado, necessariamente o pobre infeliz tem que ter dois orbitais p, TEM QUE TER, tem que ter para dar pra um e outro para dar para o outro, ele não pode ter um único orbital, tem que ter, isso aqui ó, não necessariamente você precisa ter tudo para o mesmo lado como é lá, lá daquele jeito, daquela cruz que tá lá, tá, tudo bem, juntou todos os orbitais de um lado, mas aqui não, ele botou um pedaço da cruz do lado de lá, ó, tem uma cruz aqui. Aí o que ele fez, ele juntou um... para o lado de cá, juntou esse com esse, mas esse aqui juntou com a outra cruz... com outra cruz não, com outro orbital p. E o caso, olha aqui, esse cara aqui tem o que? Uma ligação pi e uma ligação sigma, certo? Então ele tem só um orbital p, não tem dois, tem um só, e o resto é um restinho que sobrou (diminui o tem de voz não dá para entender), que eu botei os hidrogênios, ta?</p>	<p>Professor usa representação gráfica para mostrar diferentes possibilidades de ligação com a mesma hibridação (no caso sp). Usa exemplo dos alenos. Confronta duas representações gráficas, uma com prioridade para as ligações e outra com a prioridade para os orbitais envolvidos. Usa também uma representação gráfica exclusiva (cruz) para tratar da interação de orbitais p. Confronta-se então três representações gráficas.</p>	
2	<p>2 (A1) Professor! 3 (P) Presente. 4 (A1) No caso, nesse carbono aqui o orbital que taria fazendo a pi, poderia estar assim... 5 (P) Tá. Por isso que esse troço é torto. Por isso que quando agente desenha isso aqui de verdade, agente desenha assim ó, H bota um ponto no meio para identificar o carbono e faz assim ó, esse é para frente e esse é para trás, por que tá assim, tá? Como se estivesse assim, esse dedão aqui tá para cima, e esse aqui tá para baixo. Se você rodar isso aqui, ele tá para frente, esse aqui que tem o hidrigêniozinho de cá, esse de cá, esse aqui tá para frente e esse aqui tá para trás. Tem que ser torto.</p>	<p>A partir da pergunta de uma aluna, realiza uma nova representação gráfica, a qual considera "de verdade" para a molécula que está sendo considerada nesse episódio. Essa representação gráfica de verdade considera a estereoquímica da molécula. Em seguida confronta essa representação que julgou "verdadeira" com uma ferramenta gestual, na qual procura destacar a posição dos hidrogênios em planos ortogonais.</p>	
3	<p>6 (P) Só que tem uma coisa, para eu mostrar para vocês e usar um monte de modelo não adianta nada, entendeu? Ah é legal, bonito, a coisa rodando, pô que legal, não adianta nada. Se você não pegar O MODELO e sentir ele fisicamente na sua mão como é que é a idéia, não vai aprender. Não vai aprender. Ficou bem claro, já de propósito, que muito poucos sabem, e aqueles que sabem foram aqueles que fizeram.</p>	<p>Discursiva. Procura convencer os alunos de elaborarem seus próprios modelos (ferramentas materiais), para que consigam aprender.</p>	

Episódio 13 (QGE-26042006-05) – Olho de Newman

S.	Transcrição	Ação no Turno	Ferramenta no Turno
1	<p>1 (P) Tá vendo isso aqui. Eu quero que você olhe por aqui, ou seja, nessa direção aqui, e me mostre a projeção de Newman. Certo? Que você olhe este aqui desse jeito e me mostre isso aqui. Vamos façam! Vocês vão fazendo aí eu vou fazendo aqui.</p>	<p>Professor vai até o quadro e propõe uma atividade, fornecendo algum tempo para sua realização. Enquanto aguarda os alunos, o professor monta uma ferramenta material (bastão) com uma representação para a estrutura proposta.</p>	 
2	<p>2 (P) Pronto? Olha só, este aqui é o da frente, certo? Onde está o CH₃?</p> <p>3 (As) Direita.</p> <p>4 (P) Então sobrou isso, sobrou isso, certo? Meu CH₃ está aqui... como eu estou olhando olha ele aqui (usa ferramenta gestual). Certo? E agora... isso aqui está aonde?</p> <p>5 (As) Em cima.</p> <p>6 (P) E agora? CH₃ tá aonde?</p> <p>7 (As) Várias respostas, há divergências.</p>	<p>Após algum tempo o professor inicia a solução, usando os braços para representar as posições dos ligantes e auxiliando os alunos durante a solução.</p>	 
3	<p>8 (A1) Professor!</p> <p>9 (P) Presente!</p> <p>10 (A1) Tem que fazer a etila assim?</p> <p>11 (P) Pode fazer do jeito que quiser.</p> <p>12 (A2) O meu CH₃ ficou diferente.</p> <p>13 (P) Calma, vamos ver aqui (referindo-se a ferramenta material na sua mão). Esta molécula está assim, certo?</p> <p>14 (As) Certo!</p> <p>15 (P) CH₃ para frente, hidrogênio no plano, ligação no plano, hidrogênio para trás, certo? CH₃ para frente, hidrogênio para trás, o resto do rabo para lá. Ta?</p>	<p>Professor pega o modelo material que havia preparado e coloca na frente da representação gráfica no quadro, conferindo todos os constituintes, bem como suas posições em relação ao observador da representação, que no caso da ferramenta material é ele mesmo.</p>	 
4	<p>16 (P) Vamos olhar aqui. Quando nós olhamos daqui o que dá: CH₃ pra lá, hidrogênio pra cá, hidrogênio pra baixo, pra cima a etila, pra cá o CH₃ e pra cá o hidrogênio. Certo? Você tem que pegar isto aqui e olhar daqui. Tem que olhar daqui, aí você pega isto e roda e vê direitinho.</p>	<p>O Professor coloca a ferramenta material ao lado da resposta ao problema da atividade e compara os elementos de configuração em cada uma delas.</p>	

APÊNDICE B – Mapa de eventos: Introdução à Química de Coordenação

Aula (A) – 25/04/2006						
N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Tópicos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:07:10	(E) O que é química inorgânica? Fronteiras, aplicações e conexões.	–	(P)	Professor usa projeção. Uma definição de química inorgânica. Os limites da química inorgânica por meio do trato com outras disciplinas.
2	00:07:10	00:22:20	(E) Questões históricas na química inorgânica. Tabela Periódica. Estrutura do átomo.	(CE)	(P) (G)	Características dos elementos químicos e sua relação com a classificação periódica. Necessidade do desenvolvimento de uma estrutura atômica. Apresentação em função dos personagens na história e de sua contribuição.
3	00:22:20	00:26:20	(E) Influência da radioatividade.	–	(G)	Relatos históricos da descoberta da radioatividade. Participação das mulheres no cenário científico mundial.
4	00:26:20	00:32:32	(E) Ligação Química.	(CE)	(P)	Questões históricas acerca da ligação química. Teoria da Ligação de Valência.
5	00:32:32	00:41:27	(E) Química de Coordenação.	(CE) (TR) (EA)	(P)	Característica dos compostos de coordenação. Estrutura das cobalaminas do Werner.
6	00:41:27	00:45:38	(E) Química Bioinorgânica. Química medicinal.	(TR) (CE) (EA)	(P)	Características estruturais do grupo eme. Processo de troca de oxigênio na célula. Estrutura da cis-platina.
7	00:45:38	00:48:42	(E) Novos materiais e química supra-molecular.	(TR) (CE) (EA)	(P)	Compostos de coordenação que agem como metais.
8	00:48:42	00:52:10	(E) Aplicação da química de coordenação.	(TR) (CE) (EA)	(P)	Utilização de catalisadores. Exemplos de catalisadores, por meio de sua estrutura. Polimerização.
9	00:52:10	00:53:46	(O) Fechamento da aula.	–	–	Na próxima aula haverá uma avaliação de conhecimentos sobre estrutura atômica.
Aula (B) – 28/04/2006						
N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Tópicos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:05:45	(E) O que é um orbital?	(CE)	–	Pede para alunos escreverem o que é um orbital. Pergunta aos alunos o que escreveram.
2	00:05:45	00:14:36	(E) Ondas, radiações	(CE)	(P)	Energia, frequência e comprimento de onda. Modelo

3	00:14:36	00:26:09	eletromagnéticas e os átomos. (E) Mecânica quântica.	(CE)	(P)	quântico do átomo. Espectro eletromagnético. Energia de elétrons em níveis de energia. Equação de Schrodinger. De onde vem os orbitais.
4	00:26:09	00:40:16	(E) Representação de orbitais.	(CE)	(P) (G)	Função radial. Função radial em termos de valores positivos e negativos. Recorre ao significado físico de tais parâmetros. Função densidade de probabilidade.
5	00:40:16	01:00:37	(E) Representação para penetração e blindagem. Carga nuclear efetiva.	(CE)	(P) (G)	Penetração de orbitais e blindagem. O átomo de hidrogênio. Carga nuclear efetiva. Princípio da construção (aufbau).
6	01:00:37	01:20:14	(E) Energia de troca e o desvio na regularidade da distribuição eletrônica e propriedades periódicas.	(CE)	(P) (G)	Energia de troca explicando as irregularidades encontradas na distribuição eletrônica. Número de pares de elétrons desemparelhados maior é favorecido.
7	01:20:14	01:25:21	(E) Propriedades dos metais de transição.	(CE) (EA)	(P) (G)	Teoria de bandas. Condução elétrica nos metais (corte na seqüência do registro, devido a problema da bateria).

Aula (C) – 05/05/2006

N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Tópicos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:03:42	(E) O que é número de coordenação.	(TR) (CE)	(P)	Definição de número de coordenação a partir dos pontos de coordenação. Exemplos colocados no quadro.
2	00:03:42	00:05:40	(E) Número de coordenação quatro. Características.	(CE)	–	Estabilidade de complexos tetraédricos em relação aos complexos quadráticos-planos. Característica = discursivo. Uma revisão da aula anterior.
3	00:05:40	00:07:16	(E) Importância de poliedros.	(CE)	(P)	Considera a importância da representação de poliedros até o número de coordenação seis, para o entendimento das características dos complexos, de sua isomeria.
4	00:07:16	00:20:37	(E) Número de coordenação cinco. Características.	(TR) (HE) (CE)	(P) (M)	Estruturas para número de coordenação cinco: bipirâmide trigonal e pirâmide quadrática. Desenhadas no quadro e montadas pelos alunos. Professora pede que alunos montem estruturas. A professora confronta as ferramentas materiais com o que está desenhado no quadro. Episódio rico.
5	00:20:37	00:33:39	(E) Número de coordenação seis. Características.	(TR) (HE) (CE)	(P) (M)	Pede para que os alunos façam as estruturas com massinhas e que eles devem escrever as estruturas no caderno. Formas de

						representação para complexos octaédricos. Usa diferentes ferramentas materiais (varetas, bolas de ping-pong). Também no magnetix comparando com a forma prismática trigonal. Usa o magnetix para mostrar a conversão entre as duas estruturas. Usa também bolas de ping-pong. As estruturas podem ser definidas pelas configurações d.
6	00:33:39	00:34:14	(O) Consulta material.	-	-	Procura por alguns exemplos em seus materiais.
7	00:34:14	00:39:18	(E) Número de coordenação nove.	(TR) (HE) (CE)	(P)	Explica porque não tratará dos números de coordenação sete, oito e nove, pois envolvem elementos do bloco f.
8	00:39:18	00:43:42	(E) Estereoisomeria. Compostos quadráticos planos.	(TR) (HE)	(P)	Exemplos de Werner para complexos quadráticos planos de platina e octaédricos de cobalto. Isomeria geométrica.
9	00:43:42	00:45:35	(E) Estereoisomeria em complexos. Compostos bipiramidais trigonais. MA_2B_3	(TR) (HE) (CE)	(P)	Exemplos em complexos bipirâmide trigonal. Os isômeros são diferentes. Compara as estruturas no quadro, a partir das diferentes posições dos ligantes.
10	00:45:35	00:48:48	(E) Estereoisomeria em complexos. Compostos octaédricos. MA_2B_4	(TR) (HE)	(P) (M)	Formas isômeras cis trans em complexos octaédricos. Desenha as diferentes formas no quadro. <u>Usa a ferramenta material para confirmar as propostas feitas no quadro (semelhante ao que ocorre na quim org.)</u> . Fala das dificuldades de representar os isômeros e de reconhecer o que é igual.
11	00:48:48	00:52:46	(E) Estereoisomeria em complexos. Compostos octaédricos. MA_3B_3	(TR) (HE)	(P) (M)	Isômeros fac e mer. Correspondência cis trans com esses isômeros. Usa o quadro e compara com a ferramenta material.
12	00:52:46	00:55:45	(E) Estereoisomeria em complexos. Isomeria ótica.	(TR) (HE)	(P) (M)	Isomeria ótica ocorre quando não há um eixo impróprio de rotação (definição formal).
13	00:55:45	01:02:46	(E) Estereoisomeria em complexos. Isomeria ótica. Caso dos ligantes bidentados de complexos octaédricos.	(TR) (HE)	(P) (M)	Usa modelos materiais para tratar do caso dos ligantes bidentados. Pergunta se os alunos conseguem “imaginar” o isômero ótico.
14	01:02:06	01:14:21	(E) Isomeria ótica e isomeria geométrica.	(TR) (HE) (EA)	(P) (M)	Pergunta o que é isomeria ótica, indicando que isso foi estudado em química orgânica. Isômeros óticos interagem com a luz polarizada de modo diferente.
15	01:14:21	01:25:56	(E) Isomeria de ligação.	(TR) (HE) (CE)	(P)	Isomeria de ligação em ligantes ambidentados. Reações para

16	01:25:56	01:27:51	(E) Nomenclatura de complexos.	(EA) -	(P)	produção de complexos com isomeria. Regras para nomenclatura de complexos. Distribui uma folha com as regras de nomenclatura. (Corte do registro).
Aula (D) – 12/05/2006						
N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Tópicos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:12:17	(E) Introduzindo questões de partida para o modelo do Campo Cristalino: Cores em complexos.	(EA) (CE)	(P)	Modelos usados para entender a ligação em complexos. <u>Destaca que é modelo e não teoria</u> . Explicando as cores em complexos a partir das transições eletrônicas.
2	00:12:17	00:16:56	(E) Representação de orbitais d.	(TR) (HE) (CE)	(P)	Indica a necessidade de representar os orbitais d. Pedes que os alunos façam também a representação no caderno.
3	00:16:56	00:31:11	(E) Campo cristalino: considerações e simplificações. Orientação espacial de um campo octaédrico.	(TR) (HE) (CE)	(P) (G)	Ferramenta gestual para representar níveis de energia. Utiliza um cubo para a matriz octaédrica do complexo. Questão topológica entre cubo e o “campo octaédrico”. Usa analogia da laranja para falar da interação metal-ligante, prevalece o campo octaédrico. Orbitais eg e t _{2g} .
4	00:31:11	00:45:31	(E) Desdobramento do campo octaédrico (10Dq).	(TR) (CE) (EA)	(P) (G)	Detalhamento do campo octaédrico. Baricentro. Influências do desdobramento do campo cristalino na cor.
5	00:45:31	00:50:08	(E) Desdobramento do campo quadrático plano.	(TR) (HE) (CE)	(P) (G)	Logo no começo do evento recorre ao cubo do octaedro para marcar como pode ser encontrada a forma quadrática plana, pelo estiramento dos eixos, <u>componente espacial forte ainda que ocorra rapidamente</u> . Recorre gestualmente para falar desse afastamento em relação ao campo octaédrico.
6	00:50:08	00:55:25	(E) Estabilidade de configuração d8 (ML ₄ ML ₆).	(TR) (CE)	(P)	Exemplo do [Ni(H ₂ O) ₆] ²⁺ . Representação eletrônica no desdobramento de campo. [NiCl ₄] ²⁻ . Não existe NiCl ₆ .
7	00:55:25	01:01:25	(E) Desdobramento de campo tetraédrico.	(TR) (HE) (CE)	(P)	Usa o cubo para mostrar a formação do campo tetraédrico. Acho que vale pegar esses casos nos múltiplos eventos, pergunta-se sempre se o aluno está “vendo”.
8	01:01:25	01:03:32	(E) O que é um espectro eletrônico.	(CE)	(G)	Pode-se medir 10Dq por meio de espectroscopia eletrônica. Explica o que é um espectro eletrônico e faz paralelo com espectro de infravermelho.

9	01:03:32	01:09:00	(E) Atividade: desdobramento do campo octaédrico.	(TR) (CE)	(P)	Representação do desdobramento octaédrico dos complexos: $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$; $[\text{V}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$.
10	01:09:00	01:14:07	(E) Desdobramento octaédrico (10Dq) para a configuração d4.	(TR) (CE)	(P)	Explica o desdobramento octaédrico para a configuração d4. Considerações sobre a influência da energia de emparelhamento.
11	01:14:07	01:16:18	(E) Medida do valor de estabilidade magnética. Dados experimentais confirmando modelos.	(CE)	(P)	Explicação do uso da balança diamagnética para obtenção de dados experimentais. Fala um pouco da relação entre dados experimentais e modelos.

Aula (E) – 26/05/2006

N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Tópicos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:08:08	(E) Desdobramento de campo em complexos de spin alto.	(CE)	(P)	Termos e desdobramento para complexos (3F) d2. 3 transições eletrônicas entre termos de mesma multiplicidade $T2g \leftarrow T1g$; $A2g \leftarrow T2g$; $T1g \leftarrow A2g$.
2	00:08:08	00:10:42	(E) Caso do rubi (Cr^{3+}).	(TR) (HE) (CE) (EA)	(P)	Casos onde ocorre relaxamento do elétron com liberação de energia de radiação. <u>Exemplo do rubi (Cr^{3+}) com alumina, professora indica “realmente é”.</u>
3	00:10:42	00:12:32	(E) O que pode ser obtido por um espectro eletrônico.	(CE)	(P)	Pode-se prever quantas transições ocorrerão no espectro. No espectro poderão ser observadas as bandas de absorção, ou seja, as diferenças de energia entre os níveis.
4	00:12:32	00:20:36	(E) Diagramas de transições eletrônicas.	(CE)	(P)	Mostra diagramas, explicando suas características. Como pode ser obtido um diagrama. <u>Aqui é explicado o sentido de um diagrama eletrônico. Esse sentido só pode ser significativo, considerando-se Cassirer.</u>
5	00:20:36	00:29:30	(E) Parâmetro de Raká. Parâmetro nefelauxético.	(CE)	(P)	Retoma a situação da formação de um complexo, pela formação de ligações entre centro metálico e ligante. Elétrons após a ligação ficam deslocalizados.
6	00:29:30	00:33:03	(E) Diferenças dos parâmetros B em ligantes diferentes.	(CE) (EA)	(P) (G)	Explicar a diferença do parâmetro B entre ligante ciano e o ligante amino.
7	00:33:03	00:36:38	(E) Diagramas qualitativos de Orgel.	(TR) (CE)	(P)	Importância do diagrama qualitativo de Orgel.
8	00:36:38	00:46:17	(E) Diagrama de Tanabe-Sugano.	(TR) (CE)	(P)	Diagrama semi-qualitativo. Destaca que serão usados “o

9	00:46:17	00:58:20	(E) Interações eletrônicas, campo ligante e simetria.	(TR) (CE)	(P)	tempo todo”. Diagramas para as configurações d2 e d4. Relações entre o desdobramento do campo e as interações eletrônicas. Aluna tem dúvida e retoma a mudança de spin alto e spin baixo observada no diagrama de Tanabe-Sugano.
10	00:58:20	00:59:07	(O) O que estudar para este tema.			Fala do material disponível para copiar e os exercícios que devem ser feitos com relação ao tema.
11	00:59:07	01:08:34	(E) Desdobramentos de termos.	(TR) (CE)	(P)	<u>A partir da pergunta de um aluno</u> , explica o desdobramento de termos, e em especial do termo dubleto i (objeto da pergunta do aluno).
12	01:08:34	01:15:31	(E) Desdobramento de termos.	(TR) (CE)	(P)	A partir da pergunta de outro aluno, explica que o termo S não se desdobra no campo octaédrico.
13	01:15:31	01:25:31	(E) Desdobramento de termos.			Explica desdobramento de termos. Diagrama de Tanabe-Sugano para íon no estado gasoso.
14	01:25:31	01:26:25	(O) Encerramento da aula.			Entrega material sobre a aula para ser deixado na xérox.

Aula (F) – 09/06/2006

N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Tópicos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:10:06	(E) Níveis de energia em átomos multieletrônicos.	(CE)	(P)	Termo espectroscópico. Modelo vetorial do átomo. Momento magnético. Momento de spin. Valores permitidos de energia.
2	00:10:06	00:26:12	(E) Acoplamentos eletrônicos.	(CE)	(P)	Tipos de acoplamento. Acoplamento de Russell-Sanders. Acoplamento j-j.
3	00:26:12	00:30:35	(E) O que é um termo.	(CE)	(P)	Um termo é um conjunto de funções de onda de mesma simetria, de mesma energia. Microestados.
4	00:30:35	00:38:29	(E) Microestados e os Termos de Russel-Sanders.	(CE)	(P)	Apresenta em transparência todos os microestados possíveis para a configuração d2, segundo o acoplamento de Russell-Sanders.
5	00:38:29	00:48:28	(E) Desdobramento dos Termos no caso octaédrico.	(TR) (HE) (CE)	(P)	Efeito dos ligantes sobre o termo espectroscópico. Relação entre orbitais e grupos de simetria. Mostra o desdobramento de orbitais f, apesar de não serem usados.
6	00:48:28	01:17:57	(E) Degenerescência do estado fundamental d.	(TR) (HE) (CE)	(P)	Energia para os termos Eg e T2g. Casos das configurações 2D (d1); 2D (d9) e 5D (d4); 5D (d6) e 3F (d2); 4F (d3).
7	01:17:57	01:18:32	(O) Encerramento da aula.			Na próxima aula, dúvidas e exercícios, senão matéria nova.

Aula (G) – 23/06/2006						
N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Tópicos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:06:18	(E) Interpretação do diagrama de Tanabe-Sugano.	(TR) (CE)	(P)	Houve um teste na metade inicial desta aula. Explica e exercício/teste proposto para verificar como usar o diagrama de Tanabe-Sugano.
2	00:06:18	00:17:46	(E) Interpretação de espectros eletrônicos para a transição d-d (UV-VIS). $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$.	(TR) (CE) (EA)	(P)	Interpretação de espectros, usa como exemplo o complexo hexaquo-manganês (II). Configuração do íon no estado gasoso (d5). Determinação do termo espectroscópico de menor energia = ^6S (sexteto S). Diagrama de Tanabe-Sugano para íon de configuração d5.
3	00:17:46	00:23:15	(E) A que está relacionada à questão da intensidade.	(TR) (CE)	(P)	Energia tem a ver com $10 Dq$. Mostra a energia no eixo do espectro eletrônico, esclarece que a intensidade se relaciona a ela. Faz também com o diagrama de Tanabe-Sugano.
4	00:23:15	00:23:40	(E) Qual deve ser a primeira transição.	(TR) (CE)	(P)	A partir de uma dúvida de aluno esclarece como localizar e interpretar a primeira transição na relação espectro/diagrama.
5	00:23:40	00:25:54	(O) Importância do tema em estudo.			Indica a necessidade de aprender o que está sendo estudado para uma disciplina posterior.
6	00:25:54	00:37:25	(E) Interpretação de complexos tetraédricos.	(TR) (CE)	(P)	Interpretação de diagramas de Tanabe-Sugano para complexos tetraédricos. Complexos de íons d7.
7	00:37:25	00:41:14	(O) Atividade e programação das próximas aulas.			Indica os exercícios que devem ser feitos para entender e revê a programação do curso até o final que está atrapalhado pelo calendário de jogos da copa.
Aula (H) – 07/07/2006						
N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Tópicos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:10:40	(E) Banda de transferência de carga.	(CE) (EA)	(P)	Fala das explicações usadas até agora. Modelos até agora usados são: campo cristalino e vetorial do átomo.
2	00:10:40	00:18:30	(E) Representação de orbitais de fronteira.	(TR) (CE)	(P) (G)	Explica as representações de HOMO e LUMO. Faz correlação com mapas de altitude.
3	00:18:30	00:23:43	(E) Caso da molécula de etileno.	(TR) (CE)	(P) (G)	Qual tipo de metal pode ligar-se a olefinas. Características do HOMO e LUMO para as ligações em complexos.

4	00:23:43	00:39:45	(E) HOMO, LUMO e CLOA.	(TR) (CE)	(P)	Orbitais e simetria. Como são calculados. Resultados das operações de simetria. Influência da teoria de grupos.
5	00:39:45	00:48:12	(E) Complexos tetraédricos.	(CE) (TR) (HE)	(P) (G)	Dúvida de aluno sobre aprofundamento na explicação dos complexos tetraédricos. Molécula tetraédrica não possui centro de inversão.
6	00:48:12	01:00:42	(E) Orbitais moleculares e a teoria de ligação de valência.	(TR) (CE)	(P)	Aluno pergunta sobre uma forma diferente de abordar os orbitais moleculares, a partir dos híbridos. Professor resgata a história dos conceitos e explica que há nessa abordagem uma simplificação muito grande.
7	01:00:42	01:08:42	(E) Possibilidades da teoria do orbital molecular.	(TR) (CE)	(P)	Perguntas sobre a energia de transferência de carga. Caso de complexos metálicos que não possuem elétrons d
8	01:08:42	01:17:36	(E) Doação sigma e retrodoação pi. Ligante como receptor pi.	(TR) (HE) (CE)	(P) (G)	Caso do CO como ligante. Usa gestos para representar os orbitais. Formação das CLOAs.

APÊNDICE C – Mapa de eventos: Química Geral Estrutural

Aula (A) – 21/03/2006						
N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Conteúdos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:03:05	(Organizativo) Iniciando a aula.		–	Devolução e comentários sobre uma atividade da aula anterior (introdutória).
2	00:03:05	00:32:15	(Explicativo) Aspectos gerais da disciplina.		(P)	Representação na química orgânica, forma explícita, notação bastão, com exemplos para sustentar o uso da notação bastão. Características universais da representação em química.
3	00:32:15	FIM	(Organizativo) Apresentação do contrato de pesquisa.		–	Apresentação da pesquisa e conversa sobre o contrato.
Aula (B) – 22/03/2006						
N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Conteúdos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:01:06	(Organizativo) Iniciando a aula.		–	Pedidos de silêncio e comentários sobre o excesso de conversa de alunos. Esclarecimento sobre um celular na sala
2	00:01:06	00:08:45	(Explicativo) Características da representação estrutural e propriedades das moléculas.	(TR)	(P)	Características da representação, molécula da água. Geometria molecular. Representação dos pares de elétrons não compartilhados. Representações de elétrons e nuvens eletrônicas.
3	00:08:45	00:09:40	(Explicativo) Características da representação de orbitais.	(TR)	(P)	Diferentes formas de representação de orbitais pi.
4	00:09:40	00:19:05	(Explicativo) Modelos para representação do mundo.	(CE) (TR)	(P) (M)	Características diferentes de modelos materiais para representação de moléculas. Apresentação de representações materiais diferentes para a “mesma coisa”, confrontando com a representação no quadro.
5	00:19:05	00:27:26	(Explicativo) Características estruturais da molécula da água.	(EA) (CE)	(P) (M)	Organização do estado sólido. Conceito de cristal. Características do vidro Organização das moléculas em sistemas com diferentes fases de agregação.

6	00:27:26	00:32:58	(Explicativo) Modelos, realidade e representação.	(CE)	(P) (M)	Adequação de diferentes representações para diferentes tipos de perguntas. Distorções nos ângulos previstos em função dos tipos de ligantes.
7	00:32:58	00:37:40	(Explicativo) Convívio e uso de teorias. Capacidade de explicação a partir de modelos.	(CE)	(M)	Sobre a necessidade de várias teorias para explicar diferentes situações. Algo como uma interpretação sobre o método e sobre a atividade científica.
8	00:37:40	00:41:45	(Explicativo) Habilidade espacial para representação em papel.	(TR) (HE)	(P)	Necessidade de treinar o olhar. Exercício para “ver tridimensionalmente”. Exercício de visualização das faces de um cubo. Formas geométricas para treinar o olhar.
9	00:41:45	00:49:50	(Explicativo) Adição de volumes e sua relação com a estrutura das moléculas.	(EA) (CE)	(P) (G)	Confrontando propostas (teorias) colocadas pelos alunos.
10	00:49:50	00:53:25	(Explicativo) Importância da noção de simetria.	(CE)	(P) (G)	Alguns exemplos de simetria, sua importância para o curso de química.
11	00:53:25	00:54:45	(Organizativo) Encerramento da aula	-	-	Apresentando alguns temas da próxima aula.

Aula (C) – 28/03/2006

N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Conteúdos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:00:25	(Organizativo) Iniciando a aula.		–	Preparando o quadro. Brincando com alunos que ainda estão chegando na sala.
2	00:00:25	00:04:34	(Explicativo) Elementos de simetria: eixos de simetria no ciclobutano.	(CE) (HE)	(P) (M)	Explicação sobre o que são eixos de simetria. Proposições feitas no quadro com auxílio de modelos de varetas. <u>Durante essas atividades não é feita relação com a molécula em si.</u>
3	00:04:34	00:06:41	(Explicativo) Eixos de simetria no metano (modelo) feito por um aluno.	(CE) (HE)	(P) (M)	Nesse caso é feita a relação com o metano. Professor utiliza como exemplo para eixo de simetria uma molécula feita por um aluno em bola e isopor.
4	00:06:41	00:08:55	(Explicativo) Continuação de eixos de simetria no ciclobutano.	(CE) (HE)	(P) (M)	Volta a falar de eixos de simetria no ciclobutano.
5	00:08:55	00:11:38	(Explicativo) Planos de simetria no ciclobutano.	(CE) (HE)	(P) (M) (G)	Explicação sobre o que são planos de simetria usando o ciclobutano como exemplo.

6	00:11:38	00:13:58	(Explicativo) Centros de simetria no ciclobutano.	(CE) (HE)	(P) (M) (G)	Explicação sobre o que é um eixo de simetria usando o ciclobutano como exemplo.
7	00:13:58	00:18:40	(Explicativo) Atividade proposta para solução juntos: elementos de simetria.	(CE) (HE)	(M)	Atividade para ser resolvida juntamente com o professor: determinar os elementos de simetria de uma molécula.
8	00:18:40	00:22:50	(Explicativo) Atividade proposta para solução juntos: elementos de simetria.	(CE) (HE)	(P)	Atividade para ser resolvida juntamente com o professor: determinação dos elementos de simetria do ciclohexano. Situação proposta no quadro.
9:	00:22:50	00:31:07	(Explicativo) Atividade proposta para solução juntos: elementos de simetria.	(CE) (HE)	(M)	Atividade para ser resolvida juntamente com o professor: determinação dos elementos de simetria..
10	00:31:07	00:36:55	(Explicativo) Atividade proposta para solução juntos: elementos de simetria.	(CE) (HE)	(P) (M)	Atividade para ser resolvida juntamente com o professor: anel de cinco membros (ciclopentano).
11	00:36:55	00:39:50	(Explicativo) Considerações sobre a geometria das moléculas.	(CE) (HE)	(P) (M)	Considera que as moléculas orgânicas possuem deformações em relação às formas geométricas típicas.
12	00:39:50	00:41:50	(Organizativo) Atividade proposta para casa.	(CE) (HE)	(P)	Colocar dois substituintes na molécula de norbornano e indicar os elementos de simetria encontrados.

Aula (D) – 29/03/2006

N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Conteúdos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:00:53	(Organizativo) Iniciando a aula			
2	00:00:53	00:12:26	(Explicativo) Elementos de simetria do norbornano.	(CE)	(P) (M)	Discussão sobre os elementos de simetria no norbornano, considerando também os dois substituintes em qualquer posição, conforme proposto na aula anterior.
3	00:12:26	00:24:00	(Explicativo) Estudo sobre assimetria e atividade ótica.	(EA) (CE)	(P) (M) (G)	Situação sobre a relação entre carbono assimétrico e atividade ótica. Situação dos alenos. A situação encerra com uma “crise”, pois uma aluna indica que não sabe o que é carbono sp ³ .
4	00:24:00	00:30:05	(Organizativo) Conteúdos não vistos no ensino médio.			Professor percebe conceitos que os alunos não sabem, e que deveriam ter sido apresentados no ensino médio.

Aula (E) – 11/04/2006						
N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Conteúdos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:01:20	(Organizativo) Iniciando a aula			Preparando para começar a aula, lembrando situação anterior (aula D).
2	00:01:20	00:09:22	(Explicativo) Orbitais, elétrons, funções de onda e probabilidades.	(CE)	(P)	
3	00:09:22	00:43:45	(Explicativo) Características estruturais do átomo de carbono.	(CE) (TR)	(P) (G)	Distribuição e configuração eletrônica no átomo de carbono. Valência do carbono. Carbono tetraédrico. Hibridação do carbono. Características das ligações do carbono. Tetraedricidade do carbono. Uso de teorias.
4	00:43:45	00:44:55	(Organizativo) Questões de calendário.			Pergunta sobre a possibilidade de dar uma aula maior em algum outro dia.
5	00:44:55	00:44:58	(Organizativo) Atende a uma ligação urgente.			Foi cortada da seqüência do filme.
6	00:44:58	00:50:13	(Explicativo) Características dos orbitais.	(CE)	(P)	Distribuição dos orbitais no espaço. Técnicas de determinação de estruturas. Uso da matemática na previsão de orbitais. Uso de teorias.
	00:50:13	00:51:24	(Organizativo) Encerramento da aula.			
Aula (F) – 18/04/2006						
N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Conteúdos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:00:23	(Organizativo) Iniciando a aula.			Desenha no quadro uma tabela com pontos de fusão e ebulição de compostos. Ajeita coisas na mesa, prepara o gravador.
2	00:00:23	00:04:18	(Explicativo) Correlação estrutura-propriedade (apresentação de problema)	(EA)	(P)	Introdução à correlação entre estrutura e pontos de fusão ebulição. Utiliza uma tabela (série homóloga) de pontos de fusão e ebulição com as respectivas notação bastão.
3	00:04:18	00:07:42	(Explicativo) Correlação estrutura-propriedade	(EA)	(P)	Destaca duas substâncias isômeras: isopenatno e neopentano e compara os pontos de ebulição delas

			(apresentação de problema)			entre si e com o isômero da tabela anterior. As novas substâncias possuem ramificações e os compostos da tabela anterior não.
4	00:07:42	00:11:26	(Explicativo) O que é ponto de ebulição.	(EA)	(P)	Apresenta características sobre o processo de compostos. Usa exemplo da água.
5	00:11:26	00:20:26	(Explicativo) Forças de interação entre moléculas e relação com sua estrutura.	(EA)	(P) (M) (G)	Forças de Van der Waals. Deslocalização de elétrons na estrutura. Formato da nuvem eletrônica depende da estrutura.
6	00:20:26	00:26:32	(Explicativo) Previsão do ponto de ebulição a partir da estrutura. Possibilidades e limitações.	(EA)	(P)	Retoma outros exemplos na tabela original e procura fazer previsões de ponto de ebulição a partir da estrutura, colocando ramificações em compostos lineares.
7	00:26:32	00:30:12	(Explicativo) Relação da estrutura com o ponto de fusão.	(EA)	(P)	Diferença da estrutura cristalina para o ponto de fusão da substância. Exemplos para a forma cúbica e ortorrômbica.
8	00:30:12	00:38:10	(Explicativo) Influência da ponte de hidrogênio no ponto de ebulição.	(EA)	(P) (G)	Confronto etanol e água. Destaca a estrutura da molécula da água para falar da ligação hidrogênio. Aqui o professor fala que “é o que se acha que existe”.
9	00:38:10	00:44:30	(Explicativo) Relação estrutura e solubilidade.	(EA)	(P) (G)	Efeito de detergência. Micelas. Relação de detergência em álcoois de cadeia longa.
10	00:44:30	00:49:14	(Explicativo) Concentração micelar crítica.	(EA)	(P)	Caso de proteção de reservatório de água no nordeste contra evaporação.
11	00:49:14	00:51:50	(Organizativo) Fechamento da aula			Retoma a importância das forças intermoleculares para a previsão de pontos de ebulição.
Aula (G) – 26/04/2006						
N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Conteúdos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
	00:00:00	00:02:40	(Organizativo) Iniciando a aula.			Conversa com os alunos para que estudem para a prova, devido aos resultados dos testes.
	00:02:40	00:19:45	(Explicativo) Hibridação do carbono e tetravalência. Hibridações sp ³ e sp ² .	(CE) (TR)	(P) (M) (G)	Explica a hibridação do carbono para justificar a tetravalência do carbono. Faz considerações sobre o sentido físico dos descritores quânticos. Representação de orbitais híbridos sp ³ , sp ² e sp.

00:19:45	00:21:30	(Explicativo) Visualização de orbitais com batatas.	(HE)	(P)	Sugere que alunos façam modelos materiais com batatas e palitos para conseguirem entender a distribuição orbital para os híbridos sp ³ e sp ² .
00:21:30	00:26:30	(Explicativo) Hibridação sp.	(CE)	(P) (G)	Explica a hibridação sp. Representação da distribuição orbital para o carbono híbrido sp.
00:26:30	00:30:20	(Explicativo) Representação, hibridação em alenos e a força dos modelos físicos.	(TR) (HE) (CE)	(P) (G)	Usa o exemplo de um aleno para exemplificar a hibridação sp e discursa sobre a necessidade de usar os modelos físicos.
00:30:20	00:40:01	(Organizativo) Postura dos alunos em relação ao curso.			Fala de problemas em relação à postura dos alunos, que tem demonstrado pouco interesse pela disciplina.
00:40:01	00:43:15	(Organizativo) Validade da informação na internet.			A partir de pergunta da aluna, fala de problemas de conteúdo em material contido na internet.
00:43:15	00:46:45	(Organizativo) Postura dos alunos em relação ao curso.			Retoma o discurso com relação à postura dos alunos, indicando a necessidade de que eles estudem.

Aula (H) – 10/05/2006

N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Conteúdos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:01:22	(Explicativo) Determinar atividade R ou S.	(CE) (TR) (HE)	(P)	Desenha uma estrutura no quadro e pergunta se a rotação é R ou S.
2	00:01:22	00:04:50	(Explicativo) Determinar atividade R ou S, a partir de uma representação diferente.	(CE) (TR) (HE)	(P)	Desenha outra estrutura em bastão e pergunta pela rotação no carbono quiral.
3	00:04:50	00:07:21	(Explicativo) Representação correta para ligantes em cadeias que contém carbonos quirais.	(TR) (HE)	(P)	Faz representações em bastão no quadro e apresenta as formas corretas de representar substituintes à cadeia principal.
4	00:07:21	00:09:35	(Explicativo) Representação com “armadilha”.	(CE) (TR) (HE)	(P)	Representa uma estrutura com uma “armadilha representativa” com duas metilas representadas de formas diferentes.
5	00:09:35	00:14:30	(Explicativo) Nomenclatura usando R e S.	(CE) (TR) (HE)	(P)	A partir da representação anterior, explica a nomenclatura usando R e S.
6	00:14:30	00:23:55	(Explicativo) Nomenclatura usando R e S.	(CE) (TR) (HE)	(P)	Usa outra representação (com mais ligantes e insaturação) para trabalhar novamente a nomenclatura das formas R e S. Refaz um caminho completo acerca

7	00:23:55	00:24:58	(Explicativo) Formas de representar a estereoquímica de um carbono em uma cadeia.	(TR)	(P)	das regras de nomenclatura de compostos orgânicos. A partir de uma pergunta de aluna esclarece que a estereoquímica para um carbono pode ser definida ou não, se não a representação é diferente.
8	00:24:58	00:34:26	(Explicativo) Representação e reconhecimento de isômeros E ou Z. Um problema ontológico e de representação.	(CE) (TR) (HE)	(P) (G)	A partir de uma pergunta de aluna esclarece as formas E e Z no exemplo do episódio n. 6. Usa gestos para esclarecer a posição do plano da ligação dupla. Aqui estão envolvidas habilidades espaciais diferentes da rotação (localização espacial). A situação se alonga em torno de <u>dúvidas que os alunos revelam quanto à referencialidade da molécula representada.</u>
9	00:34:26	00:35:15	(Explicativo) Nomenclatura usando R e S.		(P)	Retoma o esclarecimento da nomenclatura.
10	00:35:15	00:42:22	(Explicativo) Outros casos de nomenclatura de compostos orgânicos.	(CE) (TR)	(P)	Coloca exemplo para destacar a ordem alfabética dos ligantes no nome e sua numeração na cadeia.
11	00:42:22	00:44:40	(Organizativo) Propõe atividade para ser feita em casa.	(CE) (TR)	(P)	Propõe que seja dada a nomenclatura de um composto como atividade para casa.

Aula (I) – 17/05/2006

N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Conteúdos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:03:20	(Explicativo) Projeção de Newman e Projeção em cavalete.	(CE) (TR) (HE)	(P)	Recupera as projeções de Newman para etano e butano que foram vistas anteriormente e compara com a respectiva projeção em cavalete.
2	00:03:20	00:11:28	(Explicativo) Elaboração de Projeções de Newman a partir de cavalete.	(CE) (TR) (HE)	(P) (M)	Propõe uma atividade em tempo de aula: elaborar a projeção de Newman a partir de um cavalete.
3	00:11:28	00:23:44	(Explicativo) Elaboração de cavalete a partir de projeções de Newman.	(CE) (TR) (HE)	(P) (G)	Propõe uma atividade em tempo de aula: elaborar um cavalete, a partir de uma projeção de Newman. Para explicar utiliza gestos e o próprio corpo. Apresenta também como ficaria na notação bastão, devido a uma dúvida da aluna.
4	00:23:44	00:25:21	(Explicativo) Elaboração de projeções de Newman a partir de	(CE) (TR) (HE)	(P)	A partir de uma pergunta de uma aluna, explica a elaboração de uma projeção de Newman para a

5	00:25:21	00:43:04	cavalete. (Explicativo) Elaboração de projeções de Newman a partir de cavalete.	(CE) (TR) (HE)	(P)	molécula do evento 2 com observador no lado oposto.
6	00:43:04	00:46:35	(Organizativo) Teste sobre representação da densidade eletrônica e nomenclatura.			Propõe uma atividade em tempo de aula: uma estrutura em cavalete com três observadores para realizar as três projeções de Newman. Teste avaliativo proposto para realização em tempo de aula com duração máxima de 10 minutos.
Aula (J) – 31/05/2006						
N.	Início	Fim	Natureza do Evento	Conteúdos	Ferramentas	Detalhamento e/ou temas envolvidos
1	00:00:00	00:00:35	(Organizativo) Aguarda alunos ficarem em silêncio.			
2	00:00:35	00:03:30	(Explicativo) Estereoquímica na projeção de Fisher.	(TR) (HE)	(P)	Escreve no quadro quatro projeções de Fisher e pergunta sobre a estereoquímica (R ou S) dos carbonos.
3	00:03:30	00:09:40	(Explicativo) Atividade ótica e carbono assimétrico.	(EA) (TR) (HE)	(P)	A partir das estruturas anteriores pergunta ao grupo sobre a atividade ótica dos compostos a partir da existência de carbono assimétricos.
4	00:09:40	00:11:49	(Explicativo) Dúvidas sobre composto meso e enantiômeros.	(HE) (TR)	(P)	Aluna coloca dúvida sobre composto meso com quatro carbonos quirais , a explicação é dada no quadro com apoio de outra projeção de Fisher. Alunos perguntam sobre enantiômeros e diastereoisômeros (o que são).
5	00:11:49	00:15:58	(Organizativo) Realização de teste em tempo de aula.	(HE) (TR)	(P)	Convoca a realização de um teste (combinado anteriormente). Coloca as questões no quadro.
6	00:15:58	00:28:44	(Explicativo) Correção do teste.	(HE) (TR)	(P)	[corte de cena] Alunos vão terminando de entregar o teste. Professor corrige o teste. Alunos debatem.