UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE QUÍMICA
INSTITUTO DE FÍSICA
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

EDSON JOSÉ WARTHA

Processos de ensino e aprendizagem de conceitos de
Química Orgânica sob um olhar da Semiótica
Peirceana

**São Paulo
2013**

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.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Wartha, Edson José

Processos de ensino e aprendizagem de conceitos de Química Orgânica sob um olhar da semiótica Peirceana. - São Paulo, 2013.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Profa. Dra. Daisy de Brito Rezende

Área de Concentração: Ensino de Química

Unitermos: 1. Química – Estudo e ensino; 2. Semiótica; 3. Química Orgânica; 4. Representação do conhecimento; 5. Linguagem.

USP/IF/SBI-027/2013

EDSON JOSÉ WARTHA

Processos de ensino e aprendizagem de conceitos
de Química Orgânica sob um olhar da Semiótica
Peirceana

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
INTERUNIDADES EM ENSINO DE
CIÊNCIAS

São Paulo
2013

EDSON JOSÉ WARTHA

Processos de ensino e aprendizagem de conceitos
de Química Orgânica sob um olhar da Semiótica
Peirceana

Tese apresentada ao Instituto de Química, Instituto de Física, Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências

Área de Concentração: Ensino de Química

Orientadora: Profa. Dra. Daisy de Brito Rezende

São Paulo
2013

WARTHA, E.J. Processos de ensino e aprendizagem de conceitos de Química Orgânica sob um olhar da Semiótica Peirceana. Tese apresentada ao Instituto de Química, Instituto de Física, Instituto de Biociências e a Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências

Aprovado em 09 de agosto de 2013.

Banca Examinadora

Instituição

Profa. Dra. Daisy de Brito Rezende

Instituto de Química da Universidade de São Paulo/IQUSP.

Profa. Dra. Neide Maria Michelan Kiouranis

Universidade Estadual de Maringá/UEM

Profa. Dra. Ana Maria Guimarães Jorge

Universidade São Judas Tadeu/USJT

Profa. Dra. Liliana Marzorati

Instituto de Química da Universidade de São Paulo/IQUSP

Prof. Dr. Paulo Alves Porto

Instituto de Química da Universidade de São Paulo/IQUSP

*Dedico este estudo às minhas maiores paixões
Elma Regina e Maria Antônia, esposa e filha
pelo amor, carinho, admiração, presença e
apoio ao longo da realização deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

À Daisy de Brito Rezende, por compartilhar tantos pensamentos; pelas orientações acadêmica e pessoal; pela paciência e compreensão; por acreditar nas idéias propostas no projeto inicial, pela amizade e companheirismo.

Ao professor Luis Roberto de Moraes Pitombo (*in memoriam*), à professora Maria Eunice Marcondes Ribeiro e à professora Adelaide Faljoni-Alário com quem aprendi a importância do envolvimento docente no contexto político e pelos momentos agradáveis de convivência e diálogo.

Aos professores da UFS, Geraldo, Heloísa e André, que me permitiram entrar em suas salas de aula, acompanhar e debater sobre o ensino de Química Orgânica.

À professora Ana Maria Guimarães Jorge que, pouco conhecendo de Química Orgânica, aceitou compartilhar conosco suas idéias sobre a Semiótica Peirceana no exame de qualificação.

Ao professor Marcelo Giordan, por aceitar compartilhar das minhas reflexões sobre os processos de representação no ensino de Química no exame de qualificação.

Aos professores, colegas de trabalho no Depto. de Química da UFS, Victor Hugo, Iramaia, Ivy, Marcelo, Ana Paula, Geraldo, Heloísa, Erivanildo, Edinéia e Juvenal pelo incentivo e interesse em meu trabalho.

Aos colegas da área de Ensino de Química que já foram meus alunos, Lailton, Ademir Jr, Christian, Marcos, Eliana, Juliana, Josilana, Camila e Verena pela oportunidade de discutir e discordar, de entender o quanto o embate intelectual é saudável e necessário.

Aos antigos e sempre presentes colegas de profissão e grandes amigos da UESC, Luciana, Elisa, Neurivaldo, Mara, Reinaldo, Rosilene, Fernando, Rosenira, Marlene e Raildo, por compartilharem comigo a realização de um projeto, de permitirem o meu crescimento profissional.

Ao professor Aloisio Tanaka e Neide Michelan Kioranis da UEM, meu primeiro contato com o trabalho universitário, pelo apoio, orientações e, por tornarem-se grandes amigos e conselheiros.

Aos colegas do mestrado e agora no doutorado, meus grandes amigos e irmãos nesta caminhada, Marcelo, Eri e Fábio pela amizade, colaboração e pelos cafés, às vezes algumas mais, às vezes menos, mas sempre divertidos; pelas contribuições em reuniões, encontros e simpósios, pelo companheirismo.

Ao grande amigo Alessandro, que além de me oferecer sua casa toda vez que estou em São Paulo, também me oferece a oportunidade de refletir sobre questões relacionadas à Psicologia Social e à Política, por partilhar momentos especiais com seus amigos e família; por torcer pela minha carreira acadêmica.

Às três professoras do Ensino Médio que muito me ajudaram, ou melhor, foram com certeza as professoras que realmente me fizeram ver a sala de aula de outro modo, Maria Eugênia Cavalcanti Sanjuam, Claudia Viana dos Santos e Elaine Maria Figueiredo Ribeiro, professoras da rede pública da Bahia.

Aos colegas que me ajudaram na coleta de informações em diferentes universidades e regiões do país. Marcos Vogel (UFES), Ademir da Silva Junior (UESB), Luciana Passos Sá (UESC), Lailton Passos (UFBA).

Aos amigos e colegas do grupo de pesquisa do GPEMEC (UFS) Acácio, Karly, João Paulo, Celso, Paulo, Lia, Márcio, Marta, Rafael e tantos outros, pelos momentos de reflexões conjuntas, pelo apoio e incentivo constantes.

Aos amigos do dia a dia representados por Eri, Acácio, Victor, Juvenal, Raquel, Amauri, Jailson (Ratinho), Daniele, Kiriaqui, Luana, Oscar, Anderson, André, Midori, Samisia, Cleiton, Luciano e Rodrigo, pelo apoio nessa longa jornada.

Aos meus familiares que compreendem minha ausência, mas que nunca deixam de estarem presentes.

Aos meus ex-alunos da UEM, da UESC e agora da UFS pela oportunidade de vivenciar a realidade do processo de formação de professores, pelos momentos de debates e discussões que mesmo com todas as tensões, angústias e contradições sempre foram saudáveis, no campo das idéias e enriquecedores.

À minha filha Maria Antônia que foi concebida, gerada e se desenvolvendo concomitantemente com esta tese. Assim será possível completar a trilogia da vida, pois existe um dito popular que diz que a vida de uma pessoa só é completa após fazer três coisas: plantar uma árvore, escrever um livro e ter um filho. Sei que plantar uma árvore, fazer um filho e escrever um livro é tarefa relativamente fácil, mas o grande desafio é regá-la e adubá-la para que cresça. Também é necessário dar amor, carinho, exemplo para que se desenvolva como ser humano e, em relação ao livro fazer com que seja lido, compreendido e que seja discutido.

Ao CICADT da UFS, que por meio da CAPES, contribuiu financeiramente com este trabalho.

Susumu Endo

[...] Além do mais, todas as faculdades cognitivas que conhecemos são relativas e, por conseguinte, seus produtos são relações. Mas a cognição de uma relação é determinada por cognições prévias. Portanto, ela não existe primeiro porque é absolutamente incognoscível e, segundo, porque uma cognição só existe na medida que é conhecida (PEIRCE, 1990, p. 252).

RESUMO

WARTHA, E.J. **Processos de ensino e aprendizagem de conceitos de Química Orgânica sob um olhar da Semiótica Peirceana**. 2013. 239f. Tese. Universidade de São Paulo.

Este estudo objetiva aproximar as Ciências Cognitivas da Semiótica Peirceana, na tentativa de compreender as dificuldades dos alunos na apropriação dos processos de representação nas disciplinas de Química Orgânica. Nesse sentido, pretende-se identificar e analisar como ocorrem os processos de percepção, interpretação e construção de representações no ensino e aprendizagem de Química Orgânica.

No presente trabalho, delimitou-se a sala de aula como núcleo de uma rede de atividades para a formulação de situações de estudo. A justificativa por essa opção reside na oportunidade que esse *locus* fornece como meio de intercomunicação, no qual o professor apreende as participações de cada aluno em relação a um conjunto de atividades propostas ou negociadas, que são interpretadas como relações entre signos, objetos e interpretantes.

Com base nos resultados da pesquisa, pode-se afirmar que a Semiótica Peirceana tem muito a contribuir na compreensão dos processos de ensino e aprendizagem de conceitos da Química Orgânica, principalmente no que se refere à importância da aquisição de sua linguagem específica no processo de elaboração conceitual. Foi possível identificar dificuldades de ensino e de aprendizagem na disciplina de Química Orgânica, mais ligadas a aspectos representacionais do que a aspectos conceituais.

Palavras chave: semiótica; química orgânica; representação do conhecimento; linguagem.

ABSTRACT

WARTHA, E.J. **The teaching and learning processes of organic chemistry concepts in the Peirce semiotics perspective.** 2013. 239f. Tese. Universidade de São Paulo.

This study aims to approximate the Cognitive Sciences of Peircean Semiotics, in an attempt to understand students' difficulties in the appropriation of the processes of representation in the disciplines of Organic Chemistry. Accordingly, it is intended to identify and analyze how occur processes of perception, interpretation and construction of representations in the teaching and learning processes of Organic Chemistry contents.

In this study, the classroom itself was narrowed as the core of a network of activities for the formulation of empirical situations. The rationale for this option is the opportunity that this locus provides as a means of intercommunication, where the teacher perceives the participation of each student in relation to a set of activities proposed or negotiated, which are interpreted as relations between signs, objects and interpretants.

Based on the survey results, one can say that the Peircean Semiotics has much to contribute to the understanding of the processes of teaching and learning concepts of Organic Chemistry, especially with regard to language as a process of conceptual elaboration. The difficulties involved in Organic Chemistry didactics relate more to representational than to conceptual aspects.

Keywords: semiotics, organic chemistry, knowledge representation, language.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
CAPITULO 01 - O OBJETO DE ESTUDO	21
1.1- Os processos de representação no ensino e aprendizagem de Química Orgânica	22
1.2 - Os objetivos do estudo	32
CAPÍTULO 02 – REFERENCIAL TEÓRICO	33
2.1- O caráter representacional do conhecimento químico	35
2.1.1 - Os símbolos, os modelos e a representação no ensino de Química	35
2.1.2 - Ontologia e epistemologia da representação de conceitos químicos	42
2.1.3 - O processo representativo: uma aproximação com a semiótica	44
2.2 - A Semiótica Peirceana e a Representação no Ensino de Química	46
2.2.1 - Uma aproximação entre a semiótica peirceana e as ciências cognitivas	46
2.2.2 - A linguagem química e o processo de representação	48
2.2.3 - Aproximações entre a semiótica e a representação no ensino de Química	59
2.3 - A linguagem simbólica e a visualização científica na Química Orgânica	74
2.3.1 - A importância da linguagem no Ensino de Química	74
2.3.2 - A visualização científica e as habilidades visuo-espaciais	79
2.3.3 - A teoria da Percepção e a visualização molecular na Química Orgânica	86
2.4 - Aspectos da construção da representação no ensino de Química na perspectiva da Semiótica Peirceana	96
CAPÍTULO 03 – ASPECTOS METODOLÓGICOS	100
3.1 - Enfoques metodológicos	102
3.2 - Metodologia de pesquisa	104
3.2.1 - Coleta de dados com o grupo de professores da disciplina de Química dos Compostos Orgânicos I e Química dos Compostos Orgânicos II	104

3.2.2 - Coleta de dados com o grupo de estudantes das disciplinas de Química dos Compostos Orgânicos I e Química dos Compostos Orgânicos II	108
CAPÍTULO 04 - APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	113
4.1 - Apresentação e análise sobre o ensino de Química dos Compostos Orgânicos I e Química dos Compostos Orgânicos II	115
4.2 - Apresentação e análise sobre a aprendizagem de Química dos Compostos Orgânicos I e Química dos Compostos Orgânicos II	149
4.3 - Apresentação e análise sobre a noção estrutural de estudantes e professores de Química Orgânica	191
4.3.1- Análise dos resultados do questionário aplicado a estudantes de Química Orgânica	192
4.3.2 - Análise dos resultados do questionário aplicado a professores de Química Orgânica	203
4.4 - Comparação dos resultados obtidos a partir das diferentes fontes de coleta de informações	209
CAPÍTULO 05 - CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	213
5.1 - Conclusões e considerações finais	215
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	223
ANEXOS	237

INTRODUÇÃO

O ponto de partida para este trabalho, pode-se dizer que teve início ainda no período de graduação, enquanto cursava as disciplinas de Química Orgânica. O acesso a modelos físicos ou virtuais era muito limitado. O quadro de giz e o livro texto eram as principais ferramentas que os professores dispunham para conduzirem suas aulas. As dificuldades de ensino e de aprendizagem de Química Orgânica parecem ter sua origem no caráter abstrato dessa ciência, ou seja, ao fato de esta ser uma ciência essencialmente visual, que exige o domínio sobre os seus códigos intrínsecos permeados por signos. Aprender Química Orgânica é, portanto, aprender sobre seus modos e convenções das representações. Representações que carregam componentes conceituais e visuais.

A primeira reprovação e a grande dificuldade de compreender os principais conceitos relacionados à disciplina de Química Orgânica em 1996 ainda me fazem refletir e, talvez, esta tese permitirá que outros reflitam sobre as dificuldades de ensino e de aprendizagem sobre esta disciplina. Há fatos ou pessoas que deixam marcas e, mesmo, tendo reprovado a primeira vez na disciplina, no semestre seguinte estava a cursar novamente Química Orgânica I, só que desta vez com outro professor. Um professor “nada convencional”, pois ministrava suas aulas sem livro texto, sem transparências, ou seja, ministrava suas aulas com materiais alternativos (bolas de papel, tubos de caneta, galhos de árvores, por exemplo). Ao iniciar as aulas que deveriam ser sobre conteúdos de Química Orgânica, esse professor diz que não vai seguir o plano da disciplina de forma linear, ou seja, vai inverter a ordem dos conteúdos e dar ênfase apenas naquilo que considera essencial. Sua primeira aula foi desenvolvida a partir do trabalhar com figuras geométricas feitas com caixas de papel, tubos de canetas e bolas de isopor. Quase a metade do curso o professor apenas trabalhou seis itens que considerava fundamentais para uma boa aprendizagem de Química Orgânica: eletronegatividade, ligações covalentes polares, efeito estérico, efeito indutivo, ressonância e aromaticidade, sempre auxiliada pelas figuras geométricas. No início ninguém entendia o porquê dessa brincadeira, soava estranho, afinal não era para ensinar conceitos de Química Orgânica? Após o processo de aprendizagem de manipulação dos objetos e, de relacioná-los às geometrias espaciais das moléculas, como que num passe de mágica, as dificuldades de compreender e resolver exercícios relacionados à Química Orgânica se esvaiu e tudo se tornava tão simples. Bastava apenas manipular duas ou três canetas durante as atividades que a

solução surgia diante dos olhos. Parece que agora compreendo que a dificuldade que eu tinha em aprender Química Orgânica era visual e não conceitual.

De lá para cá muito tempo se passou e tem-se observado que ao longo desses anos a disciplina de Química Orgânica continua sendo uma disciplina em que os índices de reprovação são ainda bastante elevados. Há vários estudos na literatura que indicam tais índices variam de 30 a 56% e que o número de estudantes com mais de uma reprovação na disciplina de Química Orgânica chega próximo aos 50% (SILVA *et al.*, 1995/ RAMOS, 1995/ BRAGA; MIRANDA; CARDEAL, 1997/ MANRIQUE, 1997/ SANTOS; VALVERDSE, 2006/ RODRIGUES; SILVA; QUADROS, 2011) e que, esses índices estão diretamente ligados a evasão do curso. Na literatura internacional também é possível perceber que há dificuldades em relação à disciplina de Química Orgânica como pode ser verificados nos trabalhos de Libby (1995), Katz (1996) e Heslsley (2000).

De 1998, quando me licenciiei em Química, pela Universidade Federal de Santa Catarina, até 2013, posso identificar alguns ciclos que povoaram o meu espírito e direcionaram a minha atividade profissional e produção intelectual. Ainda na universidade, comecei a me preocupar e a escrever sobre problemas de ensino e aprendizagem em ciências, pois ao mesmo tempo em que fazia o curso de licenciatura atuava como professor de ciências no Ensino Fundamental e professor de Química no Ensino Médio. Formando-me, passei de discente a docente e continuei a tratar dos mesmos temas, agora atuando como professor de química em uma escola pública no interior do Estado de Santa Catarina no ano de 1999. Nesse período, esboçou-se um primeiro projeto de pesquisa que pretendia executar numa pós-graduação e que tinha o título provisório de “Resgatando o Ensino de Química como uma Ciência”. Posso nunca ter executado este projeto diretamente, mas hoje percebo que ao longo de toda minha vida acadêmica, ele está sendo constantemente executado.

Em 2000 iniciava-se um segundo momento em minha vida intelectual marcado pelo ingresso no programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências na USP. Desenvolvi minha dissertação de mestrado com o tema “O Ensino Médio numa dimensão político-pedagógica: os Parâmetros Curriculares Nacionais, o Ensino de Química e o Livro Didático” sob a orientação da professora Dra. Adelaide Faljoni-Alário e realizei a defesa em novembro de 2002 e, uma década depois, estou novamente defendendo uma tese sobre o Ensino de Química.

Há temas e problemas que são permanentes na vida intelectual, enquanto outros ficam latentes ou apenas verbalizados. Como as questões relacionadas ao processo

Introdução

de ensino e aprendizagem em ciências nunca desaparecem de todo, persistem como outras tantas inquietações o processo é um constante caminhar. Outra preliminar que gostaria de explicitar é a relação entre agir e escrever. Em verdade, quase tudo que escrevo é o reflexo ou o resultado do que realizo, mormente da caminhada universitária, tanto a de discente como a de docente e posso confessar que escrevo sobre o que faço, pesquiso e reflito.

Ao começar a refletir sobre a minha caminhada, penso como os primeiros trabalhos, ainda como estudante na graduação foram importantes para mim. Foram simples e imaturos, mas refletiam minhas angustias, dúvidas e reflexões. Nos murais, nos jornais de estudantes do curso de Química da **UFSC** (Universidade Federal de Santa Catarina) estão fixados alguns desses ensaios. Tratei de temas relacionados ao ensino de química, tais como: dificuldade de realizar experimentos de Química em escolas públicas; porque roteiros experimentais em livros didáticos nunca falam sobre as dificuldades procedimentais de realizar tal atividade experimental; a rejeição que os alunos apresentam em relação à disciplina de Química. Sem orientação e sem metodologia adequada de pesquisa, realizei buscas sistemáticas sobre tais questões. Os trabalhos se perderam com o tempo, mas servem até o presente momento para algumas reflexões.

No período da Pós-graduação tive a oportunidade de, pela primeira vez, participar de um Encontro Nacional de Ensino de Química (**ENEQ**) na cidade de Porto Alegre no ano de 2000. Apenas observava e tentava entender o que se passava e, principalmente, o que se pesquisava. O mais interessante foi me encontrar pela primeira vez com alguns autores de livros e autores de artigos que conhecia apenas por meio da leitura. Ter a oportunidade de dialogar com essas pessoas me fez perceber que há muita gente pensando e refletindo sobre o Ensino de Química. Confesso que retornei a São Paulo maravilhado. Claro que no próximo **ENEQ** (2002) eu estaria lá com meu primeiro trabalho a ser apresentado no evento com o título de “Os Parâmetros Curriculares Nacionais, o Livro Didático e o Ensino de Química”.

Em 2003 fui trabalhar como professor de Química em uma escola particular no município de Cotia (SP) e em uma escola pública em Carapicuíba (SP). Duas experiências que marcaram muita minha trajetória como docente no Ensino Médio. Porém, em 2004 fui contratado como professor substituto no curso de Licenciatura em Química na Universidade Estadual de Maringá (PR) nas disciplinas de Metodologia para o Ensino de Química, Instrumentação para o Ensino de Química e Prática de Ensino de Química. Eu, que continuava repleto de incertezas sobre minha própria

formação como professor, agora estava atuando como formador de professores. Tive a oportunidade de conviver com profissionais que contribuíram muito para o meu crescimento pessoal e profissional.

Como um andante que busca constantemente algumas respostas, em abril de 2005 desembarcava no sul da Bahia para assumir vaga de professor assistente conquistada em concurso público na Universidade Estadual de Santa Cruz (**UESC**). Penso que até o presente momento foi uma das experiências mais importantes na minha vida profissional. Nessa região foi possível iniciar um grupo de debates e discussões sobre o ensino de Química com professores da rede pública que atuavam no Ensino Médio, que assim como eu estavam repletos de dúvidas, anseios e de sonhos. Inicia-se a repensar e a descobrir que era possível sonhar e tentar transformar a realidade do ensino de Química nas escolas da região. Aqui faço uma homenagem a três professoras do Ensino Médio que muito me ajudaram, ou melhor, foram com certeza as professoras que realmente me fizeram ver a sala de aula de outro modo: Maria Eugênia Cavalcanti Sanjuam, Claudia Viana dos Santos e Elaine Maria Figueiredo Ribeiro, meu obrigado por nunca terem deixado de sonhar. Na **UESC** não posso deixar de lembrar alguns professores que tinham tanta esperança no nosso trabalho, afinal éramos os primeiros professores com formação na área de Ensino de Química que chegavam à região. Os desafios foram grandes e as expectativas foram maiores ainda. Lembrar-se das reuniões com os professores enquanto reformulava-se o Projeto Acadêmico Curricular do curso de Licenciatura em Química, tantos entraves e discussões até se chegar a um consenso.

Na **UESC** tive minhas primeiras experiências como coordenador de projetos de extensão e como orientador em programas de Pós-graduação (especialização). Tive meu primeiro aluno de iniciação científica com bolsa da **FAPESB** (Fundação de Amparo a Pesquisa do estado da Bahia), bem como minha primeira bolsista de Iniciação a Extensão que hoje é minha colega no programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências. Na **UESC** organizou-se e coordenaram-se as primeiras Jornadas de Debates sobre o Ensino de Química do Sul da Bahia. O mais gratificante é que vários de meus ex-alunos fazem ou já fizeram mestrado na área de Ensino de Ciências nos diversos programas pelo país.

O andarilho não para e, em maio de 2008, muda-se para a Universidade Federal de Sergipe (**UFS**) no *Campus* de expansão na cidade de Itabaiana em Sergipe. Cada mudança é sempre um novo começo, agora a diferença é que você percebe ou pelo menos começa a se identificar com os problemas da área de Ensino de Química e já tem um bom caminho percorrido. Minha experiência na **UFS** é um constante desafio.

Introdução

Como o *Campus* está em construção, não é suficiente ser apenas professor e pesquisador. Tive minhas primeiras experiências como gestor. Estar na vice chefia do Departamento de Química, ser representante do *Campus* Professor Alberto Carvalho no Conselho Universitário (**CONSU**) em 2009 e 2010 me fizeram ter outra visão da universidade. Ser coordenador de projetos com recursos oriundos de fundações estaduais e nacionais **FAPITEC** (Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe) e **CNPq** (edital 64/2009), colaborar na criação e consolidação de um grupo de pesquisa em Ensino de Ciências e Educação Matemática (**GPEMEC**) no *Campus*, orientar alunos em programas de Iniciação Científica (**PIBIC**), Iniciação a Docência (**PIBID**), Iniciação a Extensão (**PIBIX**) e orientar alunos em programa de Pós-graduação (*latu sensu*) tem nos obrigado a crescer profissionalmente e pessoalmente. Em meio a tudo isso, em agosto de 2009 dei início ao meu doutoramento junto ao programa. Por não ser possível meu afastamento de minhas atividades docentes, optou-se por desenvolver parte do trabalho de campo e coleta de informações no Estado de Sergipe e somente em 2012 terminar de cursar as disciplinas e participar mais ativamente das atividades no programa de Pós-graduação.

Não sei se acredito ou o ceticismo é maior, o fato é que não poderia deixar de comentar sobre a trilogia básica da vida “Plantar uma árvore, escrever um livro e ter um filho”. O primeiro livro, a árvore e o filho: chegara, assim, aos 44, em 2011, com a árvore plantada e o livro editado (alguns capítulos e vários artigos publicados). Faltava-me, contudo a filha tão desejada para completar a trilogia popular que fala dos três resultados ao arredondarmos os trinta anos - plantar a árvore, ter o filho e escrever o livro. Quanto à árvore, foi fácil para um menino de roça, como eu, que viveu boa parte da infância em chácara, em Salto Veloso (**SC**), e dispunha de muita terra para vadiar e de mais ainda para cultivar. Praticava sem saber o preceito de Almeida Garrett, a felicidade pela agricultura. Árvores e livros se encontram no movimento das folhas. Em 2005 publiquei meus dois primeiros artigos que foram resultados de minha dissertação de mestrado: WARTHA, E. J.; FALJONI-ALÁRIO, A. A contextualização no ensino de química através dos livros didáticos. *Química Nova na Escola*. v.22, p.42 - 47, 2005. WARTHA, E. J.; FALJONI-ALÁRIO, A. El concepto de contextualización presente en los libros de texto de química brasileños. *Educación Química*. v.16, p.158 - 166, 2005.

Os livros, que na verdade são três capítulos em dois livros organizados por pesquisadores de diferentes regiões do país: WARTHA, E. J., GRAMACHO, R.S.

Abordagem problematizadora na formação inicial de professores de química no sul da Bahia. *In: Formação superior em química no Brasil: práticas e fundamentos curriculares*. 1 ed. Ijuí : Ed. Unijuí, 2010, v.1, p. 119-144; OLIVEIRA JR, J.A, MELLO, M.R., WARTHA, E. J. Ensino e aprendizagem de química: concepções de alunos/as em Laranjeiras (SE). *In: Múltiplos Olhares sobre a Educação Básica*. 1 ed. Aracaju: Editora da UFS, 2010, v.01, p. 217-228; LIMA, J. P. M., WARTHA, E. J. Modelos didáticos e o uso de laboratórios de ciências naturais e de informática no Colégio Estadual Murilo Braga *In: Múltiplos Olhares sobre a Educação Básica*. 01 ed. Aracaju: Editora da UFS, 2010, v.01, p. 245-262.

O filho, talvez para alguns o mais simples, mas para outros tão complexos. Assim como um livro, o filho se faz em segredo. Ademais, enquanto realizava meu doutoramento eis que é concebida, gerada e muito amada Maria Antônia, minha primeira filha, que me fez sentir mais realizado em relação à trilogia: o livro, a árvore e a filha.

Voltando a tese, “Processos de ensino e aprendizagem de conceitos de Química Orgânica sob um olhar da Semiótica Peirceana”, está organizada em quatro capítulos. No capítulo 01, apresenta-se o objeto de estudo que são os processos de representação no ensino e aprendizagem de Química Orgânica. No capítulo 02, apresenta-se uma revisão na literatura buscando relacionar a questão da representação no ensino de química e os conceitos da Semiótica Peirceana. No capítulo 03, descreve-se os aspectos metodológicos utilizados na realização do presente estudo. No capítulo 04, procura-se apresentar, analisar e discutir os resultados na perspectiva da Semiótica Peirceana e dos teóricos que abordam a questão da representação no Ensino de Química e, no capítulo 05, faz-se as devidas considerações e conclusões finais.

CAPITULO 01

O OBJETO DE ESTUDO

- 1.1 Os processos de representação no ensino e 22
aprendizagem de Química Orgânica
- 1.2 Os objetivos do estudo 32

1.1- Os processos de representação no ensino e aprendizagem de Química Orgânica

As Ciências Naturais e a Química em particular, fazem uso extensivo de modelos, ou seja, representações *simplificadas* ou idealizadas de um mundo real para divulgar o conhecimento científico sobre ele. O conhecimento é uma linguagem e para compreender essa linguagem, ou seja, compreender um conceito ou um conteúdo é necessário conhecer sua linguagem. Portanto, para estudar e entender a Química é necessário em primeiro lugar, aprender essa linguagem. As dificuldades de aprendizagem da linguagem da Química estão associadas à distinção em relação à linguagem comum, à sua especificidade quase hermética e, muito provavelmente, às dificuldades em se estabelecer as necessárias relações entre os entes químicos do mundo submicroscópico e aqueles do mundo macroscópico.

Também não se pode esquecer-se da relação entre pensamento e linguagem, pois o desenvolvimento de conceitos se centra na semântica, um conceito científico se relaciona com seu objeto apenas de modo mediado, através de conceitos estabelecidos previamente, o qual provoca o desenvolvimento cognitivo de conceitos espontâneos e o desenvolvimento semântico da palavra. Dentro da Semiótica Peirceana, ao binômio pensamento-linguagem deve ser acrescida a percepção, visto que, para Peirce (2000), pensamento, signos e percepção são inseparáveis. “*Os elementos de todo conceito entram no pensamento lógico pelos portões da percepção e dele saem pelos portões da ação deliberada*”. Para que a ponte de ligação entre pensamento e linguagem fique mais visível é preciso considerar que os signos podem ser internos e externos, ou seja, podem se manifestar sob a forma de pensamentos interiores ou se alojar em suportes quase externos, ou melhor, intersticiais, pois se localizam no próprio corpo. Os desenhos, pinturas, diagramas, fotografias, são meios externos nos quais diferentes tipos de signos se corporificam (SANTAELLA, 2001).

Segundo Santaella (1999), pode-se dizer que, sendo a Semiótica uma ciência que investiga as linguagens existentes, examinando os fenômenos em seu significado e sentido, infiltra-se nos estudos e pesquisas sobre as diversas ciências, porém não com o objetivo de se apoderar do saber e da investigação específica de outras ciências, mas de desvendar sua existência enquanto linguagem, isto é, sua ação em termos de signo seu ser de linguagem, isto é, sua ação de signo. A capacidade que o sujeito tem de gerar imagens mentais de objetos ou ações e por meio dela chegar à representação (da ação ou do objeto). Tal capacidade começa pela manipulação imitativa do objeto e prossegue na imitação interior ou diferida (imagem mental), na ausência do objeto. Para Santaella (1999) é essa capacidade que o sujeito tem de

gerar imagens mentais de objetos ou ações que permite todo pensamento seja processado por meio de signos. Qualquer pensamento é continuação de outro pensamento. Pensamento é diálogo e, portanto, semiose é sinônimo de inteligência, mente, crescimento e aprendizagem. Para Ausubel (1968) é a aquisição da linguagem que, em grande parte, permite a aprendizagem de uma vasta quantidade de conceitos e princípios. Nesse caso, o poder representacional dos símbolos é como aspectos refinadores da verbalização, pois trazem para a conceitualização, a linguagem e, evidentemente, determina como se refletem as operações mentais.

Em Vergnaud (2003) é possível identificar que palavras e outros símbolos, sentenças e outras expressões simbólicas são instrumentos cognitivos indispensáveis para a transformação de invariantes operatórios, implícitos em conceitos científicos explícitos. Isso equivale a dizer que a linguagem é indispensável nesse processo e, portanto, o ensino de Química deve facilitar a transformação do conhecimento implícito em explícito e, para isso, a linguagem é imprescindível. Gowin (1981) nos coloca que se tem uma relação triádica entre professor, materiais educativos e o aluno e, que um episódio de ensino e de aprendizagem é caracterizado pelo compartilhamento de signos e de significados entre alunos e professor, a respeito de conhecimentos veiculados em materiais educativos. Evidente que para o intercâmbio e negociação de significados característicos desse modelo de ensino, a linguagem é o instrumento básico, pois sem ela, praticamente não haveria captação de significados e, conseqüentemente não haveria aprendizagem e sem compartilhar significados não haveria ensino.

Pode-se concluir que cada linguagem, tanto em termos léxicos como de sua estrutura, representa uma maneira singular de perceber a realidade. Praticamente tudo o que se chama de conhecimento é linguagem e isso implica em que a chave da compreensão de um conhecimento ou de um conceito seja conhecer sua linguagem. Nesse caso, uma disciplina pode ser uma maneira de ver o mundo, um modo de conhecer, e tudo o que é conhecido nessa disciplina é inseparável dos símbolos (palavras, imagens, figuras, diagramas e equações, por exemplo) em que é codificado o conhecimento nela produzido. Portanto, ensinar Química ou qualquer outra disciplina é, em última análise, ensinar uma linguagem e, conseqüentemente, um modo de ver o mundo. Portanto, professores de Química são também professores de linguagem, e nesse contexto, a representação é concebida como um sistema de significação, uma forma de atribuição de sentido. Como tal, a representação é um sistema linguístico e cultural.

Levy e Santo (2006), ao analisarem o Manuscrito de 1929 de Vygotsky, chegam a conclusão que o mundo real, ou em si, é inacessível à razão humana, ele só pode ser conhecido como mundo para si, ou seja, como objeto da representação que dele se faz. Entre o objeto em si e sua representação, interpõe-se a visão do outro, ou seja, o conhecimento do indivíduo é, primeiramente, conhecimento dos outros. O mundo tem significado para o indivíduo porque, primeiro, significou para os outros de um mesmo grupo social. Com isso, na perspectiva histórico-cultural, afirma-se que o conhecer é um processo social e histórico, não um fenômeno individual e natural. Ora, dizer que o real só pode ser conhecido como representação equivale a dizer que conhecer é um processo de natureza semiótica. Na Química, “*representa-se*” para tornar algo presente, algo que pode ser substituído por uma representação. Uma representação é de fato uma “*representação*” se exprimir ideias e se provocar na mente daqueles que a compreendem uma atitude interpretativa.

O conceito de representação tem uma longa história, o que lhe confere uma multiplicidade de significados. Na filosofia ocidental, a ideia de representação esta ligada à busca de formas apropriadas de tornar o ‘*real*’ presente, de aprendê-lo o por meio de sistemas de significação. Nessa história, a representação tem-se apresentado em duas dimensões: a representação externa, por meio de sistema de signos como a pintura e a imagem, por exemplo; e a representação interna ou mental, a representação do ‘*real*’ na consciência.

Giordan e Vechi (1996) chamam a atenção para a polissemia em torno do termo representação, pois identificaram que o termo vem sendo empregado com diferentes significados em função das escolas que o utilizam em Psicologia, Filologia, Linguística, Etnologia, Filosofia, Sociologia, Pedagogia ou Didática. Esses autores identificaram aproximadamente 28 qualificativos relativos a esse termo, que incluem desde a ideia de pré-representações remanescentes até a de pré-requisitos e 27 sinônimos. Definições de que as representações eram entendidas como “*espécies de coisas existentes na cabeça dos alunos, de natureza estável, quaisquer que fossem as circunstâncias*” até um entendimento de que as representações passaram a ser consideradas, globalmente, como “*espécies de estruturas mentais postas em ação ante situações-problemas*”. Polissemia que levou Giordan e Vechi (1996) a proporem a substituição do termo representação por concepções ou constructo, no sentido de ampliar sua possibilidade operativa.

Na rubrica filosófica, representação significa a operação pela qual a mente tem presente em si mesmo a imagem, a ideia ou o conceito que correspondem a um objeto que se encontra fora da consciência. Já na área da psicologia o termo é tido como

imagem intencionalmente chamada à consciência e mais ou menos completa de um objeto qualquer ou de um fato antes percebido ou ainda o conteúdo consciente vivido como um todo coerente e que está orientado, involuntariamente de qualquer dado de realidade, para um determinado campo de objetos, acontecimentos ou situações (COSTA, 2008). Nas Ciências Cognitivas as representações mentais são, de certo modo, definidas como construções hipotéticas que são utilizadas pelos estudantes para explicar ou compreender um fenômeno, nas quais pode diferir muito em seu conteúdo, mas não em seu formato representacional ou no processo em que os estudantes constroem e manipulam. No uso de representações sejam proposicionais, modelos mentais ou imagens mentais (JOHNSON-LAIRD, 1983), não se circunscrevem a ambientes específicos, são usadas para resolução de qualquer problema, seja de ambiente escolar, familiar ou de trabalho; para isso coloca-se em movimento diferente formato para representar a informação que é mais importante, entre outros aspectos, a complexidade do problema, nossa experiência, os propósitos da inferência, e nossa habilidade para utilizar inteligentemente os códigos de representação (RIVIÈRE, 1986). As representações mentais são maneiras de “representar” o mundo externo. *“As pessoas não captam o mundo exterior diretamente, elas constroem representações mentais e internas dele”* (EISENCK; KEANE, 1990).

Na Semiótica, encontram-se, também, definições muito variadas do conceito de representação e que no âmbito de sua significação se encontra entre a apresentação e imaginação. Pierce, em 1865, caracterizava *“a semiótica como a Teoria Geral das Representações”* falando simplesmente de *“signo ou representação”*. A representação é compreendida como um signo icônico (distingue as representações por similaridade): objetos apresentados funcionam ontologicamente e objetos representados funcionam semioticamente (SANTAELLA; NÖTH, 2005). Na Semiótica Pierciana, é o signo que desencadeia a representação, uma vez que ele é percebido como sendo,

algo que, sob certo aspecto ou de algum modo, representa alguma coisa para alguém. Dirige-se a alguém, isto é, cria, no espírito dessa pessoa, um signo equivalente, ou talvez um signo mais desenvolvido. Ao signo assim criado denomino interpretante do primeiro signo. O signo representa alguma coisa, seu objeto. Representa esse objeto não em todos os seus aspectos, mas com referência a um tipo de idéia que eu, por vezes, denominei fundamento do representamen (PEIRCE, 2005, p.61).

Para Santaella (2000) um bom sinônimo para “*representa*” é a expressão “*está para*” ou “*estar no lugar lógico de*”, ou conforme palavras de Peirce, “*a sign stand for something to de idea wich it products, or modifies*” (o signo está no lugar de algo para a idéia que produz ou modifica). Já para Moscovici (1978) representação é basicamente a imagem de algo ou alguém que a linguagem circunscreve com o fluxo das associações no espaço simbólico, pois uma representação fala tanto quanto mostra, comunica tanto quanto exprime. “No final das contas, ela produz e determina os comportamentos, pois define simultaneamente a natureza dos estímulos que nos cercam e nos provocam, e o significado das respostas a dar-lhes”. Lefebvre (1983) considera que a representação é “uma presença na ausência”. Signos, crenças, visões de mundo, que se representam é, na maioria das vezes, algo ausente, presentificado. É possível identificar que o pensamento de Moscovici (1978) e de Lefebvre (1983) convergem no modelo semiótico de Peirce, de 1931, que afirma que “*o signo é qualquer coisa que está no lugar de algo para alguém, sob determinados aspectos ou capacidades*”.

Duval (2008), dentro de uma visão mais funcionalista da semiótica, considera que as representações podem ser mentais, internas ou computacionais e semióticas. Para o autor, as representações mentais cumprem a função de objetivação que consistem em um conjunto de imagens e concepções que um indivíduo pode ter sobre um objeto, uma situação ou aquilo que está associado ao objeto ou à situação. Tais representações estão associadas à interiorização das representações externas. As representações internas ou computacionais são aquelas que privilegiam o tratamento de uma informação, que por sua vez se caracteriza pela execução automática de uma determinada tarefa, a fim de produzir uma resposta adaptada à situação. Essas representações tratam, assim, da codificação de uma informação. O algoritmo da adição é um exemplo deste tipo de representação. Estas representações não são conscientes do sujeito. Trata-se de um registro mecânico que o sujeito executa sem pensar em todos os passos necessários para a sua resolução (DAMM, 1999).

As representações semióticas, por sua vez, são produções constituídas pelo emprego de signos pertencentes a um sistema de representação, os quais têm suas dificuldades próprias de significado e de funcionamento (DUVAL, 2008). A escrita em língua natural, a linguagem química, os símbolos, as equações químicas, os gráficos e os esquemas são exemplos de representações semióticas. Tais representações são externas e conscientes ao indivíduo e realizam de maneira indissociável as funções de objetivação e tratamento. No entanto, aqui, o tratamento não é automático, mas intencional. De acordo com Eysenk e Keane (1990), “*qualquer notação, signo ou*

conjunto de símbolos que re-presentam (voltam a apresentar) algum aspecto do mundo externo ou de nossa imaginação, na ausência dela”.

Na visão pós-estruturalista, a representação é concebida unicamente em sua dimensão significante, isto é, como um sistema de signos, como pura marca material em que se considera que a representação se expressa por meio de uma pintura, de uma fotografia, de um diagrama, de uma equação, de uma fórmula, de um texto, de uma expressão oral. Portanto, nessa concepção, a representação não é nunca uma representação mental ou interna. A representação é, nessa concepção, sempre uma marca ou traço visível e exterior (SILVA, 2005).

Os primeiros estudos realizados sobre as representações em processos de ensino e aprendizagem em ciências estiveram mais centrados em descrever quais eram as representações dos alunos em domínios específicos do conhecimento, tanto aquelas que faziam referencia a conhecimentos de ordem intuitivos como as adquiridas mediante os processos de ensino. Na atualidade se destaca a importância de compreender as múltiplas formas de representação a nível mental, como são usadas pelos estudantes em seu processo de racionalização e elaboração conceitual, como se dão os processos de construção e a mudança dessas representações. Buscar dar respostas a essas perguntas requer uma aproximação multidimensional, integrando aspectos provenientes de diferentes esferas como a epistemológica, a ontológica e a cognitivo-linguística.

No estudo da Química apesar dos fenômenos serem observáveis na natureza ou no laboratório (de forma direta ou indireta), podendo ser estudados em muitas de suas ocorrências, o conhecimento científico existe como construções mentais, conhecida por meio de suas representações. Isso significa que, nos processos de ensino e aprendizagem da Química se precisa levar em conta o par fenômeno/objeto – representação, uma vez que, para possibilitar a compreensão dos fenômenos é necessário trabalhar com suas representações.

A linguagem química é caracterizada por fazer uso de uma variedade de representações (fórmulas, estruturas moleculares, diagramas, modelos atômicos, mecanismos de reações, por exemplo) e pela sua complexidade no uso de um sistema de signos. Nesse caso, a representação acaba sendo o conjunto das formas de linguagem que permitem representar simbolicamente o conceito, por meio de suas propriedades, de seu comportamento e de suas características por exemplo. Portanto, a linguagem química contém inúmeras representações utilizadas para comunicar conceitos que podem interferir diretamente no processo de aprendizagem de conceitos

químicos pelos estudantes. Segundo Vergnaud (1982), a representação simbólica deve representar o problema e deve também ajudar os estudantes a resolverem o problema. Em Química, a representação tornou-se mais do que um simples desenho, tornou-se um modo de pensar (HABRAKEN, 2004).

Para construir, elaborar e comunicar conceitos e teorias, a Química se utiliza de representações (baseadas em sistemas de signos), tais como: diagramas, gráficos, equações, ilustrações e enunciados, dentre outras. Assim, aprender Química é também aprender a linguagem dessa ciência. Para a formação de uma representação, se recorre à língua materna, a desenhos, a analogias, a modelos, a figuras ou a fórmulas com signos próprios de uma ciência. Mas a formação desta representação não acontece independente do conteúdo a representar nem deve deixar de respeitar as regras. Diz-se que uma representação é identificável quando é possível reconhecer nessa representação o que ela representa. No caso da Química, o objeto (substância, mecanismo, equação) que representa. Para isso, o sistema de signos precisa ser comum a todas as pessoas, ou seja, ser estabelecido socialmente. Assim, uma representação identificável permite que a pessoa que se depara com ela, selecione as características e os dados do conteúdo que está sendo representado.

O processo de conversão de representações implica conhecer cada tipo de representação, seus sistemas de signos e seus significados e elementos que nelas estão incluídos. Para Garcia (2005), requer colocar em paralelo, ambos os sistemas, discriminar as unidades de significado, ou seja, articulá-las adequadamente e resgatar os elementos mais representativos que, possibilitem uma interpretação similar.

Durante uma aula, se apresentam processos de conversão ligados a situações de comunicação entre professor e aluno. Galagovsky (2004) afirma que os professores têm uma “grande mobilidade representacional”, ou seja, podem expressar seus conhecimentos através de diferentes sistemas de representação ou linguagens. Por outro lado, os estudantes devem reconstruir o discurso do professor e se apropriar desses sistemas de representação, partindo de suas próprias representações, o que pode originar dificuldades na aprendizagem de conceitos científicos. O modo como o aluno gera ou lida com uma representação poderá revelar de alguma forma como ele representa e interpreta essa informação. Saber interpretar a representação produzida pelo aluno pode ajudar o professor a realizar intervenções mais adequadas no seu processo de elaboração conceitual.

Em síntese, uma boa aprendizagem em Química depende da riqueza das representações dos conceitos químicos elaborados pelos estudantes, o que implica

em trabalho de ensino em que múltiplas representações estejam envolvidas, facilitando a aprendizagem, uma vez que as representações, além de comunicar idéias e conceitos, contribuem para sua reorganização e construção. Em Química, uma representação é utilizada para substituir um ente químico ou fenômeno, ou seja, para operar sobre o fenômeno sem a presença física do mesmo. Porém, precisa-se levar em conta a natureza social dos sujeitos e como constroem essas representações, pois cada representação construída pelo sujeito entra em interação com os fenômenos que elas representam e com as representações construídas por outros sujeitos sobre os mesmos fenômenos, transformando-se e evoluindo (GARCIA; PALACIOS, 2005). De acordo com a semiótica de Peirce, a representação pode ser interpretada como processos dinâmicos de semiose e, que semiose se revela como um processo interpretativo na geração de novos signos interpretantes.

Para pensar o real de forma Química, isto é, a partir do código incessante do visível para o invisível, é necessária uma linguagem adequada. E, no caso da linguagem química, a mesma, só se concretiza por meio de sucessivos movimentos epistêmicos que, de acordo com Mortimer *et al.*, (2007), podem ser classificados em três conjuntos de categorias – modelagem, níveis de referencialidade e operações epistêmicas. As ações da linguagem por meio das quais o conhecimento científico é apresentado na sala de aula envolve a produção de enunciados que ora tomam como base, referentes do mundo concreto, ora tratam de referentes do mundo abstrato. Portanto, do ponto de vista dos níveis de referencialidade, o movimento de referentes concretos a referentes abstratos (e vice-versa) geralmente implica na produção de classes de referentes (signos, símbolos ou o próprio objeto).

O componente simbólico permite realizar interações e translações entre os diferentes níveis. Um auxiliar importante do componente simbólico utilizado em Química é constituído pela Matemática. Como afirma Lazlo (1995), o próprio termo equação química é álgebra pura – com a condição de fixar o sentido de cada um dos símbolos. O mundo real, ou em si, é inacessível à razão humana, como já fora percebido, desde a antiguidade, por numerosos filósofos. Ele só pode ser conhecido como mundo para si, ou seja, como objeto da representação que dele se faz. Ou seja, o conhecimento do indivíduo é, primeiramente, conhecimento dos outros. O mundo significa para o indivíduo porque, primeiramente, significou para os outros. Dizer que o real só pode ser conhecido como representação equivale a dizer que conhecer é um processo de natureza semiótica (MORTIMER; SMOLKA, 2001). Nessa perspectiva, o conhecimento não se explica nem como mero ato do sujeito nem como mero efeito do

objeto, nem ainda como resultado da interação sujeito e objeto, mas como uma relação dialética, mediada semioticamente, entre sujeito e objeto.

Nesse caso há estudos dentro da Filosofia da Química que fazem uma distinção entre níveis de representação relacionados ao objeto e aos sujeitos. Labarca e Lombardi (2010) apontam que itens linguísticos e conceituais (conceitos, leis, teorias) estariam relacionados ao sujeito enquanto que os itens ontológicos (entidades, propriedade, eventos) estariam relacionados aos objetos.

Os significados dos signos são construídos socialmente, além disso, sua significação é cultural, pois para dois povos distintos, um signo pode expressar coisas totalmente diferentes. Para internalizar signos, o ser humano tem que captar os significados já compartilhados socialmente, ou seja, tem que passar a compartilhar significados já aceitos no contexto social em que se encontra ou já construídos sociais, histórica e culturalmente (MOREIRA, 1999). Ensinar Ciências significa, portanto, ensinar a ler sua linguagem, compreendendo sua estrutura sintática e discursiva, o significado de seu vocabulário, interpretando suas fórmulas, esquemas gráficos, diagramas e tabelas (SANTOS, 2007).

Os impactos que possivelmente apresentam os diferentes sistemas de representação nos processos de ensino e aprendizagem, tomando em consideração o professor como mediador do discurso, os estudantes como a comunidade discursiva e as representações como as ferramentas de aprendizagem nos levam a pensar no processo de ensino e aprendizagem como uma relação triádica entre professor, ferramentas de aprendizagem e o aprendiz. Considerando que na sala de aula o professor e os estudantes geram um intercâmbio de idéias através da linguagem e que essa linguagem incorpora uma simbologia particular, criando assim um sistema de signos, que se caracteriza pelo compartilhar de significados que ocorre durante o processo de ensino e aprendizagem em o professor atua de maneira intencional para mudar e construir significados da experiência do aluno usando diferentes ferramentas de aprendizagem. Sistema esse, linguístico e pictórico, que é utilizado na construção de um discurso pedagógico vinculado a uma disciplina. Também, não se pode deixar de considerar que as representações utilizadas na Química são de natureza semiótica porque podem ser expressas e compartilhadas com outros (GARCIA, 2005).

Duval (2008) observa que o progresso dos conhecimentos se acompanha da criação e do desenvolvimento de sistemas semióticos novos e específicos que coexistem com a língua natural e, referindo-se a Granger (1979) ressalta que o pensamento científico é inseparável do desenvolvimento de simbolismos específicos

para representar os objetos e suas relações. A atividade química deve ser estudada naquilo que ela tem de específico, ou seja, no que a diferencia do trabalho de um botânico, ou de um físico em seu laboratório, pois a maioria dos objetos químicos não são objetos diretamente perceptíveis. Isso os leva a depender das representações semióticas, para comunicação e realização das funções de objetivação (expressão particular) e de tratamento.

Duval (2003), em sua teoria de representação semiótica, tratando do funcionamento cognitivo, afirma que as representações fazem um intercâmbio comunicativo entre o sujeito e a atividade cognitiva do pensamento, gerando diferentes formas de representação dos fenômenos. Sendo assim, ele destaca que não é possível estudar os fenômenos associados ao conhecimento sem recorrer à noção de representação, uma vez que o conhecimento só poderá ser mobilizado através de uma representação. Por exemplo, na interpretação e compreensão da natureza de partículas e de suas estruturas espaciais são competências essenciais que estudantes necessitam para resolver problemas de Química. No entanto, a percepção e compreensão do modelo da estrutura espacial de moléculas orgânicas tem sido fonte de dificuldade para os muitos estudantes de Química.

Apesar dos diferentes significados para o termo representação, em nosso estudo tratar-se-á as representações do ponto de vista da semiótica peirceana, por se tratar de uma questão de capacidade criadora dos signos para gerarem outros signos. Esse movimento, considerado infinito, pois busca um ideal, é um processo constante de geração, interpretação e expansão dos signos, uma semiose. A semiótica peirceana aponta a relação triádica presente na semiose entre o signo, o objeto e o interpretante como sendo fundamental para a compreensão da produção sófica.

No trabalho com alunos de cursos de Química, principalmente em disciplinas como as de Química Orgânica, tem mostrado que a resolução de muitos problemas que envolvem alguma forma de representação esbarra em dificuldades de compreensão de conteúdos de Química envolvidos. Dessa forma, não basta considerar tais conteúdos já construídos pelos alunos e propor problemas que envolvam novos conceitos. É preciso rever, de alguma forma, como se dá o processo de semiose por meio de signos (fórmulas, diagramas, estruturas) em processos de ensino e aprendizagem de conceitos de Química Orgânica, ou seja, é necessário pensar e elaborar estratégias de aprendizagem baseadas na produção de interpretantes e, conseqüentemente na geração de novos signos interpretantes. Trabalhar com representações em qualquer concepção implica lidar com a descoberta e a interpretação de entendimentos dos sujeitos sobre o "*mundo real*", buscando

aproximá-las (através de “práticas pedagógicas”, por exemplo) de “*modelos e padrões*” definidos na cultura. Implica, ainda, assumir o que Stuart Hall (1997) considera ser o modo reflexivo de lidar com a representação e o que envolve pensar que “*o significado encontra-se no objeto, pessoa, idéia ou evento do mundo real e que a linguagem funciona como um espelho para refletir o verdadeiro significado que os mesmos têm por já existirem no mundo*”. Significa admitir que a linguagem funcionasse pela simples imitação da verdade que está estabelecida no mundo (WORTMANN, 2001).

Desse modo, acredita-se ser possível contribuir para a compreensão das dificuldades de ensino e aprendizagem de Química Orgânica enfocando o processo de planejamento, execução e avaliação de situações de ensino e aprendizagem a partir de um ponto de vista semiótico. Neste trabalho, interessa especialmente as representações estruturais, pelo simples fato de poderem ser expressas e compartilhadas com outros por meio de sistemas semióticos ou múltiplas representações tornando possível sua análise e interpretação. Neste trabalho, considera-se que nos processos de ensino e aprendizagem há relações com processos de mediação entre signo, objeto e interpretante e, conseqüentemente, a representação.

1.2 - Os objetivos do estudo

O propósito central de nossa investigação será identificar e descrever, durante um curso da disciplina de Química Orgânica para alunos de graduação em Química, como se dá a relação entre estudantes, professores e as diferentes estratégias de comunicação usadas no desenvolvimento conceitual dessa ciência. Busca-se identificar e verificar como se dá a percepção, relação e conceituação sobre os sistemas simbólicos na aprendizagem de conceitos de Química Orgânica por estudantes de cursos de graduação. Tendo disponíveis tais registros, busca-se analisar até que ponto os estudantes são capazes de realizar semioses ou de estabelecer relações entre signos, objetos e interpretantes na compreensão desta ciência.

Compartilhando a idéia de que as representações constituem um elemento importante para o trabalho docente e que não se aprende a partir de uma única situação de aprendizagem, busca-se a partir dessas análises, discutir quais contribuições das representações na aprendizagem de Química Orgânica são possíveis de se desenvolver no processo de ensino e aprendizagem. Busca-se perceber de que forma o estudante entende os objetos químicos (perceptos)

envolvidos no processo e, deste modo, identificar os atributos ou características dadas pelos estudantes aos conceitos químicos. Isto é, verificar a forma como eles representam esses conceitos em suas cabeças, ou seja, como constroem interpretantes dinâmicos. Pretende-se realizar a análise dos diferentes sistemas de representações na resolução de problemas expressos de diferentes formas, discursivos e não discursivos. Busca-se abordar o ensino de Química Orgânica em uma situação específica, analisando-a no contexto dos processos de perceber, relacionar e conceituar (Tríade Pedagógica). Busca-se também, identificar relações entre as múltiplas representações utilizadas no ensino de Química Orgânica e as dificuldades que os estudantes apresentam no processo de aprendizagem.

Alguns estudos (Furió *et al.*, 2000/ KEIG; RUBBA, 2004/ WU; SHAH, 2004/ HAN; ROTH, 2006/ BENARROCH *et al.*, 2007/ GALAGOVSKY, 2004) identificaram que os estudantes com uma certa frequência apresentam dificuldades de fazer translações entre fórmulas, modelos de bolas e varetas ou entre diagramas e suas possíveis representações. Uma análise da terminologia de símbolos representacionais pode ser útil para compreender o caráter dual – semântico e analógico – das imagens químicas.

Wu *et al.* (2001) e Anjos (2004) observaram um aumento significativo da compreensão e interpretação das relações ‘nomenclatura-propriedade-estrutura’ de substâncias orgânicas, utilizaram objetos moleculares para construir modelos e resolver problemas em sala de aula. Portanto, os objetos moleculares, enquanto representações das partículas submicroscópicas, cujo meio de veiculação pode variar desde o papel, conjuntos plásticos, isopor e madeira, tela do computador ou projeção holográfica, podem contribuir decisivamente para a construção de significados sobre fenômenos de transformação da matéria e para elaborar modelos explicativos acerca das propriedades e estrutura dos materiais. Desse modo, em relação aos professores de Química Orgânica pretende-se verificar como são articulados os diferentes sistemas de representação, por meio de instrumentos como os citados anteriormente, na abordagem dos conceitos estruturantes da Química Orgânica. Pretende-se categorizar os sistemas de representações empregados pelos professores no estudo da Química Orgânica. Para tanto se pretende acompanhar o planejamento do curso, o planejamento das aulas, o material utilizado, as avaliações e o acompanhamento das atividades desenvolvidas durante um curso de Química Orgânica para que seja possível identificar e analisar as principais dificuldades que surgem durante o processo de elaboração conceitual em Química Orgânica considerando como parte do processo de ensino e aprendizagem um processo de mediação entre signo, objeto e interpretante.

CAPITULO 02

REFERENCIAL TEÓRICO

2.1	O caráter representacional do conhecimento químico	35
2.1.1	Os símbolos, os modelos e a representação no ensino de química	35
2.1.2	Ontologia e epistemologia da representação de conceitos químicos	42
2.1.3	O processo representativo: uma aproximação com a semiótica	44
2.2	A Semiótica Peirceana e a Representação no Ensino de Química	46
2.2.1	Uma aproximação entre a semiótica peirceana e as ciências cognitivas	46
2.2.2	A linguagem química e o processo de representação	48
2.2.3	Aproximações entre a semiótica e a representação no ensino de química	59
2.3	A linguagem simbólica e a visualização científica na Química Orgânica	74
2.3.1	A importância da linguagem no Ensino de Química	74
2.3.2	A visualização científica e as habilidades visuo-espaciais	77
2.3.3	A teoria da Percepção e a visualização molecular na Química Orgânica	86
2.4	Aspectos da construção da representação no ensino de Química na perspectiva da Semiótica Peirceana	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.	Representação estrutural plana e na forma de traços para diferentes hidrocarbonetos	36
Figura 2.2.	Estruturas do cis-1,2-dicloro-eteno e trans-1,2-dicloro-eteno	39
Figura 2.3.	Representação para a molécula de benzeno.	42
Figura 2.4.	Os três componentes básicos da “nova Química” (adaptado de Johnstone, 1993; 2000).	53
Figura 2.5.	Triângulo na perspectiva emergente para a mudança das idéias de nível de abstração para os níveis de complexidade (adaptado de RAPPOPORT; ASHKENAZI, 2008, p. 1588).	55
Figura 2.6.	Níveis empíricos e o nível de modelo conectado com as representações simbólicas (adaptado de KERMEN; MÉHEUT, 2009).	56
Figura 2.7.	Escalas do conhecimento químico. A imagem representa um espaço multi-dimensional definido pelos diferentes níveis de dimensões e abordagens nos três tipos de conhecimento (experiências, modelos e visualização) que podem ser conceitualizado (adaptado de TALANQUER, 2011, p. 181).	57
Figura 2.8.	Movimentos epistêmicos (adaptado de MORTIMER; MASSI-CAME <i>et al.</i> , 2007).	58
Figura 2.9.	Representação da semiose ou da ação do signo (adaptado de SANTAELLA, 1983).	62
Figura 2.10.	Diagrama triangular de Ogden e Richards (PIGNATARI, 1987, p. 42).	64
Figura 2.11.	Representação da semiose ou da ação do signo (adaptado de SANTAELLA, 1999).	66
Figura 2.12.	Imagem virtual das interações entre as moléculas de água.	68
Figura 2.13.	Representação estrutural de uma molécula de etanol.	69
Figura 2.14.	Curvas de solubilidade em água, em função da temperatura, dos sais KNO ₃ , KBr e NaCl.	70
Figura 2.15.	Representação estrutural para a molécula de benzeno	76
Figura 2.16.	Representação visual de isômeros geométricos; H representado em amarelo; C em preto (ACD/ChemSketch Freeware.	78
Figura 2.17.	Ferramentas de visualização e a semiose sobre os entes químicos	82
Figura 2.18.	Ângulo interno de polígonos simples aumentando com o aumento do número de carbonos.	83
Figura 2.19.	Representações em 3D para a molécula de água.	86
Figura 2.20.	Constituintes peirceanos da percepção (adaptado de MUCELLIN e BELLINI, 2008, p.124).	88
Figura 2.21.	Representação de uma molécula com bolas e varas (ACD/ChemSketch Freeware).	93

2.1. O caráter representacional do conhecimento químico

2.1.1. Os símbolos, os modelos e a representação no ensino de química

“Imaginação é mais importante que conhecimento”. Essas palavras de Albert Einstein ilustram muito bem nosso ponto de vista sobre o papel das representações nos processos de ensino e aprendizagem em Química: conhecimento só, não é suficiente em Química, bem como não deveria ser o único objetivo na aprendizagem de Química. Apenas o conhecimento sobre fórmulas, equações, ligações, mecanismos de reações de outros modelos associados às transformações químicas não são suficientes para uma boa aprendizagem em Química. É necessário, também, o desenvolvimento da imaginação, em função das evidências observadas, dos dados analisados e da capacidade de criar modelos explicativos, isto é, de representar átomos, moléculas e transformações químicas por exemplo. É preciso que a interpretação de fenômenos confirme as idéias, mas é preciso, também, que as idéias façam prever novos fenômenos.

O modo lógico de discussões científicas durante o século XIX envolvia,

1. fenômenos (propriedades de substâncias, massas e volumes);
2. fórmulas empíricas e moleculares;
3. imaginações estruturais e fórmulas estruturais.

Por exemplo, no século XIX, Dalton, Berzelius e Liebig desenvolveram idéias sobre átomos e sobre fórmulas empíricas, comparando volumes de gases ou massas de substâncias. Essas fórmulas eram muito úteis para mostrar a composição de substâncias, mas não evidenciavam o modelo estrutural delas. Gerhardt e Laurent discutiram e apresentaram a teoria dos tipos. Com o tipo de hidrogênio, o tipo de água e o tipo de amônia foi possível imaginar e construir imagens de algumas estruturas de moléculas. Kekulé imaginou e desenvolveu o conceito de valência e, a partir dessa idéia, muitas estruturas de moléculas orgânicas foram propostas, incluindo a estrutura da molécula do benzeno (BARKE; ENGIDA, 2001).

A criação da simbologia de Berzelius para os elementos possibilitou a proposição da escrita dos compostos. O cloreto de sódio, por exemplo, poderia ser escrito como NaCl e, para os casos em que se observa mais de um elemento, o número subscrito indicaria a quantidade, como no caso do dióxido de carbono: CO₂. Berzelius é o principal responsável pela atual simbologia para identificação dos elementos químicos, através símbolos, adotando para representação gráfica de cada elemento a primeira letra de seu nome latino e, quando necessário, uma segunda letra diferenciadora. Couper

teve a idéia de representar as ligações por traços ou pontos. As estruturas de Couper, ou fórmulas estruturais planas, são representações, por traços de união, em que cada ligação pode ser de três tipos: simples, dupla ou tripla, sendo a ligação covalente representada por um traço conectando ambos os átomos ligantes (Figura 2.1).

Figura 2.1. Representação estrutural plana na forma de traços para diferentes hidrocarbonetos

Couper introduz elementos representacionais que refletem o conceito de ligação, devido a suas experiências com situações-problema em que poderiam ocorrer múltiplas valências para o carbono. Assim, o conceito de composto químico incorporaria o de ligação química (ou tipo de ligação química), permitindo a solução de uma gama maior de situações-problema, que envolviam o conceito de valência. Mais uma vez, essa reconstrução representacional incorporava conceitos novos (ligação química) ao conceito de composto químico, bem como novos invariantes (ANDRADE NETO; RAUPP; MOREIRA, 2007).

A utilização apropriada de simbologias constitui uma parte significativa do conhecimento químico e uma compreensão mais aprofundada a respeito dos processos de significação de representações químicas pode influenciar na aprendizagem dos estudantes, dadas suas particularidades (estrutura e organização). Do mesmo modo, a construção das representações externas pode ajudar a expandir o contexto da compreensão, estruturando e precisando as representações internas dos estudantes (REISBERG, 1987).

Desse modo, é possível ver e explicar o mundo de diferentes formas ou maneiras. Entretanto, é fundamental reconhecer que a comunicação envolve o compartilhamento de representações e, também, o exercício da racionalização com a disposição dos interlocutores de mútua aceitação de suas representações. Em relação à educação em ciências, essa perspectiva implica entender o processo de aprendizagem como possibilidade de entrar em outros mundos, em outras formas de ver, conhecer, explicar e imaginar, por exemplo. Uma das metas da investigação científica envolve o problema da relação entre objetos reais e objetos teóricos, entre o ontológico e o epistemológico, carregado de relações das quais emerge o conceito de representação. Sobre esse último conceito, as Ciências Cognitivas compartilham das visões epistemológicas con-

temporâneas e do interesse por problemas inerentes à construção do conhecimento, distanciando-se do empirismo, do positivismo e do realismo ingênuo. Lombardi e Labarca (2006) afirmam que, como sujeitos do conhecimento, pode-se ter acesso direto ao espaço linguístico ou conceitual (leis, teorias, conceitos, descrições), mas que não se tem acesso direto a todos componentes ontológicos (regularidades, entidades individuais, propriedades, relações, eventos). Afirmam que, mesmo um realista metafísico, deve reconhecer que há domínios da ontologia que não são observáveis e, portanto, não são empiricamente acessíveis, e como consequência, conclusões ontológicas sobre os inacessíveis são necessariamente indiretas. No entanto, caso se seja realista em algum sentido, é possível conceber que itens linguísticos ou conceituais se refiram aspectos ontológicos.

Como o conhecimento químico se constitui em sistemas formais interpretados, a aprendizagem de Química depende, em grande parte, da habilidade do estudante no uso da linguagem simbólica (representacional), o que exige algum grau de abstração (BARKE, 1982). Isso significa que os modelos teóricos, constituídos por um corpo de enunciados, adquirem conteúdo ao serem associados, indiretamente, a aspectos observáveis da realidade exterior. Em outras palavras, sua interpretação conduz a um modelo teórico que tem a pretensão de ser a própria representação mental (teórica/interna) dessa realidade (VIAU *et al.*, 2008/ ADÚRIZ-BRAVO; GALAGOVSKY, 1997/ KRAPAS *et al.*, 1997/ GALLEGRO-BADILLO, 2004). Pode-se dizer que cada teoria possui modelos conexos, que articulam representações associadas a ela. Em outras palavras, um modelo científico é a mediação entre um sistema formal teórico e sua interpretação (ADÚRIZ-BRAVO, 1999).

De modo geral, é possível observar que o progresso do conhecimento químico abarca o desenvolvimento de representações dos objetos que estão envolvidos e das relações estabelecidas entre eles. Essa situação ocorre em todos os campos, mas em Química, a construção do conhecimento é realizada a partir de representações e modelos. Há modelos para átomos, moléculas, transformações químicas e mecanismos de reações, por exemplo. Para tanto, foi preciso desenvolver um sistema de representação formal, ou seja, uma linguagem própria, muito semelhante ao processo de construção da linguagem natural. A utilização e a compreensão dessas representações são condições necessárias para a compreensão dos conceitos químicos envolvidos.

É importante lembrar que a linguagem química envolve diferentes níveis de abstração crescente. O estudo da estrutura da matéria e da teoria molecular, em especial, nos remete a formas de representação sem as quais a elaboração conceitual torna-se praticamente inviável (GIORDAN, 2008). Não se pode dizer que há um entendimento

objetivo da estrutura atômica sem partir do princípio de que esse adveio de um modelo abstrato. Os padrões que os cientistas observam na natureza estão intimamente ligados a seus conceitos, pensamentos e valores, como se depreende, por exemplo, da afirmação de Heisenberg : *"o que observamos não é a natureza propriamente dita, mas a natureza exposta ao nosso método de questionamento"*. Nas Ciências da Natureza, as leis, axiomas e proposições expressam conceitos sobre o mundo submicroscópico construídos a partir de dados empíricos, o que implica no caráter relativo desse entendimento, pois se tem uma situação em que os métodos adotados para a experimentação "criam" as formas perceptíveis da aparência do real.

Um exemplo dessa abordagem é o trabalho de Berzelius. A partir de sua proposição, inicia-se uma nova era para a representação simbólica na Química, em que a representação adquire um patamar simbólico mais elevado, facilitando o trabalho experimental, pois a ela relacionam-se não somente a nomenclatura, mas também um resumo das propriedades moleculares.

O nível inicial da linguagem química contém símbolos químicos para representar elementos e substâncias, com regras próprias relativas ao uso operacional dos símbolos, ou seja, é possível definir regras formais e semânticas para empregar os símbolos químicos. O segundo nível provem de um vocabulário que permite aos químicos falar em geral sobre substâncias e que requer definições e interpretações universalmente aceitas. No terceiro nível, a linguagem química apresenta as condições que são usadas para discutir as abstrações (de como uma substância se comporta) como parte de leis, modelos e teorias em um contexto geral. A linguagem, no quarto nível, é a filosófica, incluindo problemas particulares, sintáticos e semânticos, acerca do significado dos símbolos e de como eles descrevem as relações entre as substâncias e suas representações (JACOB, 2001). As regras sintáticas estão baseadas em regras químicas. Se uma fórmula empírica (por exemplo, $C_2H_2Cl_2$) é usada, não se podem conduzir discussões sobre grupos funcionais, polaridade, relação isotópica ou estereoquímica. Se usarmos $CHClCHCl$, ainda não há qualquer informação analítica sobre a configuração *cis* ou *trans* e, conseqüentemente, do momento dipolar da molécula. Por outro lado, é possível por meio do uso de estéreo-estruturas, perceber a configuração *cis* ou *trans* do composto, pela identificação da posição relativa dos átomos de hidrogênio e cloro ao redor da dupla ligação carbono/carbono. Também, é possível identificar a estabilidade do composto por meio dessa representação (Figura 2.2).

Nesse caso, o simbolismo químico moderno envolve o refinamento de regras sintáticas (baseadas em dados experimentais) e a introdução de leis e teorias gerais da Química como, por exemplo, os mecanismos de reações e a teoria das colisões

(BENSAUDE-VINCENT; STENGERS, 1996). Jacob (2001) indica que problemas de sintaxe na linguagem química são devidos a algumas limitações para combinar os símbolos químicos em uma determinada ordem que dependem, por exemplo, da valência e do estado de oxidação.

Figura 2.2. Estruturas do *cis*-1,2-dicloro-eteno e *trans*-1,2-dicloro-eteno.

Para Bunge (1974), o caráter teórico (representacional) do conhecimento torna-se medida de progresso científico, mais do que o volume de dados empíricos acumulados. Esse progresso se daria justamente pelo avanço teórico de determinada área da ciência em explicar o real. Nas palavras de Bunge:

“Converter coisas concretas em imagens conceituais cada vez mais ricas e expandi-las em modelos teóricos progressivamente complexos e cada vez mais fiéis aos fatos é o único método efetivo para apreender a realidade pelo pensamento” (BUNGE, 1974, p. 12).

Dentro desse contexto, o autor passa a precisar o papel desempenhado pelas teorias e sua relação com a realidade. Assim, Bunge afirma que *“toda teoria específica é, na verdade, um modelo matemático de um pedaço da realidade”*. De acordo com Pietrocola (1999), Bunge aborda os modelos na medida em que ele quer compreender as relações existentes entre as teorias e os dados empíricos. Os modelos seriam intermediários entre as duas instâncias limítrofes do fazer científico: as teorias e a realidade. Ao longo do trabalho de Bunge fica claro que, embora de fundamental importância, as teorias por si só nada valem no contexto científico, pois sendo abstrações produzidas por nossa razão e intuição não se aplicariam *a priori* às coisas reais. Por outro lado, os dados empíricos apesar de mais próximos da realidade, não podem ser inseridos em sistemas lógicos e gerar conhecimento. Dessa aparente dicotomia entre teórico e empírico, é que é introduzida a modelização (representações) como instância mediadora. Com efeito, Bunge define três elementos fundamentais no processo de teorização, como mostrado no Quadro 2.1.

Os objetos-modelo são formulados através de propriedades comuns, ou admitidas como comuns, de determinado grupo de objetos reais. Apesar de exibirem um alto

grau de realidade, não permitem qualquer operacionalização que transcenda o próprio estabelecimento de semelhanças.

Teoria geral: que pelo fato de ser geral se aplica potencialmente a qualquer parte da realidade, mas é impotente por si só na resolução de problemas.

Objeto-modelo: que se constitui em imagens conceituais (e, portanto abstratas) dos elementos pertencentes a um sistema real que se pretende interpretar através de uma teoria geral.

Modelo teórico (ou Teoria específica): "...é um sistema hipotético-dedutivo que concerne a um objeto-modelo" e "... é obtido pela adjunção de suposições subsidiárias a uma estrutura geral... cobrindo uma espécie em vez de um gênero extenso de sistemas físicos".

Quadro 2.1- Elementos fundamentais do processo de teorização (BUNGE, 1974).

No extremo oposto, se têm as teorias gerais, que embora altamente operacionalizáveis (em função de sua estruturação matemática), não se referem a nada especificamente pertencente ao mundo real, embora possam vir a se referir a ele pela adição de suposições adicionais.

Ainda sobre a forma de conceber os modelos, Bunge (1974) faz questão de diferenciar modelos com objeto literais (ou não-familiares) daqueles com objetos analógicos (ou familiares). Pelo fato de qualquer objeto concreto poder ser modelizado de diversas formas, ele não diferencia essas duas categorias do ponto de vista funcional: ambas as classes de idealização podem ser engastadas em teorias gerais e produzir modelos teóricos. O único critério seletivo presente nesse processo é o resultado obtido com esses modelos. Dessa forma, a familiaridade ou não dos objetos presentes em um modelo teórico não serve de critério para a validação de modelos, a explicação e a previsibilidade constituir-se-iam em tais critérios. Do ponto de vista psicológico, modelos teóricos eficientes providos de objetos familiares (analógicos) são mais compreensíveis, pois contentariam nossa inclinação em procurar explicar os mecanismos escondidos através de esquemas conhecidos.

Para Bunge (1974), os modelos são a essência do próprio trabalho científico. Existiria, no processo de produção de modelos, a passagem progressiva do real-percebido ao real-idealizado. Esse processo iniciar-se-ia pelas idealizações das situações tratadas, que resultariam nos objetos-modelo e terminaria pela construção dos modelos teóricos, que seriam as estruturas que emulariam o real através de sistemas conceituais hipotético-dedutivos. Para chegar-se a eles, é necessária a construção de objetos-modelo e sua incorporação a uma teoria geral, que, por ser geral, não se pronuncia diretamente sobre a realidade. Mas não se deve interpretar a obtenção de modelos como uma atividade meramente racional ou mecânica. Apesar de vincular-se aos aspectos empíricos dos fenômenos enfocados, trazidos pela observação e pelos resultados

de experiências, a modelização é uma atividade criadora. Nela, inserem-se as preferências pessoais, as paixões intelectuais e a bagagem de conhecimentos anteriores do cientista, balanceadas e organizadas pela intuição e/ou pela razão. O processo de modelização requer o deslocamento do “*mundo fenomenal*” para um espaço de representação: desse modo, para Bunge, *modelização é um processo representacional*.

Para entender o tipo de representação da realidade que as teorias oferecem, é importante perceber que toda teoria factual enfoca tão somente alguns aspectos da realidade, considera unicamente algumas variáveis e introduz apenas algumas relações entre elas. Vale dizer que toda teoria investiga o mundo esquematicamente, referindo-se a um modelo e não à realidade em toda sua riqueza e complexidade (o que de resto seria impossível). A teorização supõe a criação de um objeto-modelo, ou seja, uma representação idealizada do setor da realidade em estudo, tal como cobre (Cu) ou *homo sapiens*. A teoria não retrata, pois, a realidade, nem se refere imediatamente a ela. A teoria trata, por assim dizer, do objeto-modelo, que constitui uma representação convencional (embora não arbitrária) e aproximada da realidade (BUNGE, 1974). Essa representação, denominada relação de modelagem, pode ser figurativa (como um desenho ou um diagrama), ou conceitual (como um sistema de enunciados ou equações).

Os modelos podem ser tomados como representações, como é claramente o caso ao se falar de modelos icônicos. Contudo, é preciso distinguir entre modelos e representações e, em particular, distinguir um modelo de sua representação, embora alguns modelos sejam representações. A questão é que nem todos o são. Nesse caso, pode-se ter a tipologia básica mostrada no Quadro 2.2, que engloba três categorias de modelos, no sentido representacional.

(1) Modelos icônicos – ou representações físicas que guardam semelhanças estruturais ou de detalhe com outras estruturas ou sistemas.

(2) Modelos matemáticos – ou representações verbais que descrevem extensionalmente as propriedades fundamentais de outras estruturas ou sistemas.

(3) Modelos nômicos – ou representações verbais que descrevem, estruturalmente ou em detalhe, o comportamento de outras estruturas ou sistemas.

As representações verbais são, como se costuma dizer, simbólicas, isto é, elas se referem a outra coisa não por semelhança física, mas por convenção linguística. E a vantagem de uma representação verbal é que ela pode expressar não apenas semelhanças físicas, como no caso de um modelo icônico, mas também semelhanças de comportamento, que é aquilo a que se refere.

Quadro 2.2. Tipologia básica de categorias de modelos (BUNGE, 1974:35).

Na medida em que a Ciência não se limita à descrição, à exploração dos fenômenos, ela deve, necessariamente, comportar o imaginário, o virtual. O sábio deve mergulhar o real em um virtual mais amplo, mas suficientemente preciso para que seja de-

finido intersubjetivamente. O objetivo da ciência é, afinal, o de precisar a propagação do real no seio do virtual (THOM, 1983).

Assim, como a imaginação sempre fez parte do pensamento científico (seja do passado, seja do presente), a incorporação da representação gráfica e de noções puramente imaginárias ou pertencentes ao mundo das probabilidades pode ser muito útil para a comunicação científica.

2.1.2. Ontologia e epistemologia da representação de conceitos químicos

Para Campos (2001), uma representação de conhecimento é uma resposta à pergunta *“Em que termos devo pensar sobre o mundo?”* isto é, envolve um conjunto de compromissos ontológicos.

Uma vez que toda representação é uma aproximação imperfeita da realidade, ao selecionarmos uma representação, estamos tomando um conjunto de decisões sobre como e o que ver no mundo. Portanto, selecionar uma representação significa fazer um conjunto de compromissos ontológicos. Esses compromissos determinam o que pode ser visto, enfocando alguma parte do mundo em detrimento de outras. Esta forma de ver o mundo não é apenas um efeito colateral da escolha de uma representação; ao contrário, o efeito focalizador é a parte essencial do que a representação oferece, já que a complexidade do mundo real é esmagadora. Assim, o comprometimento ontológico feito por uma representação pode ser uma de suas mais importantes contribuições (CAMPOS, 2001, p. 24).

Em decorrência, os mecanismos de representação do conhecimento permitem que processos de formalização sobre os objetos e suas relações, em contextos pré-definidos, possam ser facilmente representados também no âmbito da Química, pois, para aprender os conceitos, é necessário aprender, também, sobre suas representações. O nível ontológico tem por objetivo restringir o número de possibilidades de interpretação do conceito dentro de um dado contexto, a partir de um formalismo que pretende representar o conteúdo do conceito e, o nível epistemológico, a noção genérica de um conceito, é introduzido como uma forma primitiva de estruturação de conhecimento; ele é o nível da estruturação, ou seja, considera a natureza e a especificidade da explicação Química. Enquanto o nível epistemológico é o nível de estruturação, o nível ontológico é o nível de significação (CAMPOS, 2001).

Araujo Neto (2009) verificou que alguns filósofos da Química têm debatido questões acerca da representação estrutural envolvendo questões ontológicas e epistemo-

lógicas, nas quais se percebe a falta de uma nova conceituação teórica e de atributos que tratem da disputa entre modelos moleculares estáticos e dinâmicos (ZEIDLER, 2000), caracterizando-se como necessário o debate a respeito da ontologia dos objetos da Química (DEL RE, 1998). Zeidler (2000) e Zeidler e Sobczynska (1996) afirmam que a estrutura molecular de um composto químico é determinada por três elementos: constituição, configuração e conformação. A constituição refere-se à sequência de ligação dos átomos. A configuração é definida pelo arranjo espacial dos átomos, o qual, por sua vez, é caracterizado pelos ângulos de valência de todos os átomos que estão diretamente associados com pelo menos dois outros átomos. Finalmente, as diferentes conformações de uma dada molécula correspondem a diferentes arranjos espaciais relativos de seus átomos, resultantes de rotações em torno de ligações simples e são termodinamicamente estáveis.

Schummer (1998) apontou que as fórmulas estruturais podem ser encaradas como representações analógicas (que representam as moléculas em virtude de uma analogia) ajudando os químicos na atividade de reconhecimento de propriedades estáticas e dinâmicas de moléculas. Essa visão tem seus méritos, pois enfatiza que os químicos não trabalham com símbolos matemáticos, como o fazem os físicos, mas com representações esquemáticas topológicas e geométricas das moléculas. Usam fórmulas como representações simplificadas de uma molécula no espaço e, também, como ferramentas para a concepção de novas moléculas e para a compreensão do papel das configurações e conformações em processos químicos e bioquímicos.

Para Ribeiro (2008), a percepção sobre um ente químico é filtrada ontológica e conceitualmente, baseando-se na experiência física, na cultura e linguagem cotidiana. Esse filtro da percepção pode explicar muitas das dificuldades no uso de modelos e obstáculos epistemológicos no ensino de Química relacionado aos níveis de explicação e de análise. A existência e persistência de concepções alternativas seriam originadas pelas formas de pensar (componentes epistemológica e metodológica do pensamento) em qualquer fazer cotidiano. É importante conhecer o fenômeno (componente ontológico do pensamento) e como esse se relaciona com idéias na razão (componentes epistemológicos e metodológicos). Segundo Gabel (1998) e Taber (2001), as principais dificuldades que se apresentam na Química se devem a incompreensões nas interpretações macroscópica e/ou microscópica dos fenômenos químicos e, também, à falta de relações entre esses níveis de interpretação da matéria; em relação aos níveis de representação, ao uso inadequado e/ou confusão de modelos, podendo gerar problemas linguísticos. Segundo Ribeiro (2008), o primeiro nível da linguagem química reflete o seu simbolismo, nomenclatura e regras de organização de sua no-

menclatura atribuída aos entes e níveis químicos: átomos, moléculas, substâncias, transformações químicas, por exemplo. Um segundo nível pode ser atribuído às relações e funções entre os conceitos e, um terceiro nível da linguagem química, além de conter termos empregados para discursos abstratos, tais como: elementos, compostos, soluções, misturas, abrange as leis, modelos e teorias.

2.1.3. O processo representativo: uma aproximação com a semiótica

Neste trabalho, consideram-se as representações como produtos semióticos que dependem de suas formas de uso, pois são processos intencionais negociados por uma comunidade que os garante e legitima. As técnicas de representação usadas, atualmente, nas diversas áreas da Química, herdaram seus traços iniciais do campo da Química Orgânica, a qual se destaca como pioneira no uso de signos gráficos para representações estruturais (ARAUJO NETO, 2009). Para o mesmo autor, a possibilidade de um signo gráfico representar a molécula de uma substância não foi sempre admitida pelos químicos. As primeiras fórmulas estruturais produzidas no âmbito da 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 químico, 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. Para Araujo Neto (2009), 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.

De acordo com Araujo Neto (2009), as 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 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.

Em uma perspectiva semiótica e cognitiva, pode-se entender que uma representação é uma notação (ou signo ou conjunto de símbolos) que *'re-presenta'* algo para nós, ou seja, ela representa algo na ausência desse objeto. Piaget recorre à noção de representação como *"evocação dos objetos ausentes"*.

No âmbito da Semiótica Social, Mercer (1997) e Lemke (1997) vêem a aprendizagem de ciências como uma semiose, isto é, o processo de pensar depende do modo de aquisição da linguagem para a construção do conhecimento. Sustentam que tanto aprender como fazer ciência são basicamente processos sociais. Isso se realiza pelos membros das comunidades sociais, em que a sala de aula pode ser vista como uma pequena comunidade social, que se constitui mediante a comunicação de significados, de modo que a educação científica consiste em “*ensinar a usar a linguagem*” segundo os padrões semânticos da ciência. Em síntese, Lemke (1997) quer dizer que a aprendizagem da ciência é um assunto de como aprender a falar ciência. Ensinar ciências implica em uma orquestração retórica de vários modos semióticos em situações de interação discursiva que pretendem a (re)elaboração de uma visão de mundo (KRESS; VAN LEEUWWEN, 2001).

Halliday (1998), também no âmbito da Semiótica Social, afirma que as “*estruturas semióticas*” são um conjunto de significados derivados do sistema semiótico cultural e podem ser representadas a partir de três dimensões: o campo, que é caracterizado pela ação social e sua manifestação mais importante, que é o assunto; o teor se constitui nas relações entre os participantes e, o modo, que é o canal escolhido para a comunicação, em que a linguagem assume o papel de meio. Essas três dimensões são, essencialmente, “*uma estrutura conceitual para representar o contexto social como ambiente semiótico no qual as pessoas trocam significados*” (HALLIDAY, 1998, p. 145).

Pode-se definir um registro como sendo a configuração dos recursos semânticos que os membros de uma cultura associam tipicamente a uma situação definida. É o potencial de significado razoável em dado contexto social. Nessa perspectiva, Lemke (1997) conceitua a Semiótica Social como a teoria que procura explicar como os indivíduos elaboram significados a partir do grupo social no qual estão inseridos. Se os significados são construídos no grupo social e expressos por meio da linguagem oral ou escrita, seria possível utilizar a fenomenologia como método de interpretação de dados, pois essa tem grande aplicação aos fenômenos da vida diária, sobretudo aqueles que podem ser descritos por meio da linguagem. e, desse modo, identifica-se uma aproximação com a Semiótica Peirceana no que se refere ao caráter semiótico do pensamento, que exige que o fenômeno seja intrinsecamente dialógico, pois a mediação interfere na própria produção do pensamento, visto que todo pensamento é igualmente social, já que o signo é um produto cultural, ou seja, todo conhecimento é, para Peirce, inferencial, mediato, articulado no tempo e processual e faz-se mediante signos e no decorrer da experiência.

Nesse caso, considera-se que o uso de diferentes formas de representações está relacionado com a construção do conhecimento, especialmente no contexto escolar. No caso particular da Química Orgânica, o uso da linguagem e das representações revela como o conhecimento sobre o objeto químico está sendo construído. E, portanto, a diversidade de usos de linguagem e de representações nos remete às referências que investigam os signos, símbolos e códigos que compõem a linguagem química.

2.2. A Semiótica Peirceana e a representação no Ensino de Química

2.2.1. Uma aproximação entre a semiótica e as ciências cognitivas

Santaella e Nöth (2005) nos colocam que o estudo das representações visuais e das representações mentais é tema de duas ciências vizinhas, a Semiótica e a Ciência Cognitiva, sendo que essas remetem a vários conceitos e teorias. A referência da palavra representação está, principalmente, no conceito inglês *representation(s)*, tendo como sinônimo linguagem, símbolo e signo, podendo ser percebida e concebida por diferentes modos.

Para Duarte (2008), a representação tem sido estudada pela Ciência Cognitiva de diversas formas, em geral como: uma idéia de estrutura mental; imagens ou modelos imagéticos que representam, de forma analógica, um objeto estudado; símbolos mentais formados de proposições ou descrições; imagens ou cópias icônicas da realidade cujas imagens mentais se originam na percepção prévia dos sentidos. Tais imagens podem ser chamadas de concepção, imaginação, idéias, apreensão ou conhecimento.

A Semiótica enquanto campo de conhecimento surge, sugestiva e simultaneamente, em três contextos diferentes: Rússia, Suíça e Estados Unidos, entre a segunda metade do século XIX e início do século XX. Não há apenas uma escola semiótica, há pelo menos três: a semiótica do norte-americano Charles Sanders Peirce, a do suíço Ferdinand Saussure (mais tarde relido por Hjelmslev e por Derrida) e a dos teóricos russos, que inspirarão do cineasta Eisenstein a Vigotski e Bakhtin, este, explorando os signos em sua relação com a vida social (SILVA, 2008).

Semiótica é a área do conhecimento que se dedica ao estudo dos signos, ou seja, de tudo que é produzido e que pode ser interpretado. A Semiótica tem como objeto o estudo de todo tipo de linguagem. Para Deely (1990), a Semiótica “*é o conhecimento sobre a semiose, a explicação teórica sobre os signos e o que eles fazem. É a história das tentativas de se explicar aquilo que sustenta a semiose e a torna possível, a saber, o signo*”. Em outras palavras, pode-se dizer que a Semiótica tem por tarefa inves-

tigar a ação dos signos, e a função dos signos, que, de acordo com Guiraud (1993), é a de comunicar idéias por meio de mensagens.

A Semiótica de Peirce, cuja perspectiva fundamenta o signo em bases lógicas e fenomenológicas, com relações triádicas diferentes dos conceitos de signo e de significação, que emergem de outras teorias que discutem as atividades semióticas, como por exemplo, as teorias estruturalistas do signo e da significação, cujo conceito de signo é visto como um constructo de relações diádicas entre seus elementos. Os processos de significação, nessa abordagem, emergem de uma relação binária que resulta na emergência de significados, como é o caso da semiologia de Ferdinand de Saussure (CORREIA, 2008).

O signo, para Peirce, é o resultado de um processo gradativo de percepção e sua consequente interpretação; e sua transformação é produto das relações lógicas entre os elementos que o compõem e da emergência de processos interpretativos, em outros termos, processos de semiose (usualmente definida como um processo de atividade característico da capacidade humana inata de produção e entendimento de signos das mais diversas naturezas).

Segundo Peirce, a semiose como processo se caracteriza sempre, quando comparada com outros tipos de atividade, pela relação de interdependência entre os três elementos da cadeia semiótica (*representamen*, objeto e interpretante; Figura 2.3). Sua especificidade, porém, se torna explícita à medida que qualquer um desses três elementos da tríade não necessita ser algo existente e concreto (CORREIA, 2008).

Figura 2.3. Dinâmica da relação triádica entre o objeto, o representamen e o interpretante.

O percurso conceitual do trinômio signo-significação-representação, no decurso dos diferentes momentos filosóficos, torna-se fundamental para a compreensão do desenvolvimento científico dos processos significativos. O conceito de representação há muito se constitui como o cerne de variadas teorias, como a Semiótica e as Ciências Cognitivas. Nöth (1995) apresenta-nos, com muita propriedade, como signo, significação e representação estão na origem histórica da doutrina dos signos.

“A doutrina do signo, que pode ser considerada como *semiótica avant la lettre*, compreende todas as investigações sobre a natureza dos signos, da significação e da comunicação na história das ciências. E a origem dessas investigações coincide com a origem da filosofia: Platão e Aristóteles eram teóricos do signo e, portanto, semioticistas *avant la lettre*” (NÖTH, 1995, p. 20).

Acredita-se que uma boa aprendizagem em Química depende da riqueza das representações dos conceitos químicos, o que implica em um trabalho em que os vários sistemas de representação estejam envolvidos, uma vez que as representações semióticas, além de comunicar as representações mentais, contribuem para sua reorganização e construção. O conceito de representação mental nos leva do campo da Semiótica para a área das Ciências Cognitivas, que desenvolve modelos de conhecimento e, portanto, representações e modelos de processamento de suas estruturas. Nesse caso, representações mentais são modelos de processos cognitivos e, consequentemente, para a semiótica peirceana, as representações cognitivas são signos. O signo é um mediador entre o homem e o mundo e o homem é um mediador entre um signo e outro signo. A semiótica parte do pressuposto de que representações cognitivas são signos e que operações mentais ocorrem na forma de processos signícos (SANTAELLA; NÖTH, 1999).

A relação entre o símbolo e seu objeto se dá através de uma mediação. Em Química, um símbolo (estrutura molecular, diagrama, fórmula) é utilizado para substituir um composto ou fenômeno, ou seja, operar sobre o ente químico ou fenômeno, sem a presença física do mesmo. Porém, precisa-se considerar a natureza social dos sujeitos e de como constroem esses sistemas complexos de signos (que, no âmbito da Química, são simbólicos, dicentes e diagramáticos). Pois, cada signo (interpretante dinâmico) construído pelo sujeito interage com os compostos e fenômenos que ele representa e com as representações construídas por outros sujeitos sobre os mesmos compostos e fenômenos, transformando-se e evoluindo (GARCÍA; PERALES, 2005).

2.2.2. A linguagem química e o processo de representação

Para estudar e entender a “Química” é necessário, em primeiro lugar, aprender a linguagem própria da Química. As dificuldades de aprendizagem da linguagem da Química estão associadas à distinção em relação à linguagem comum, à sua especificidade quase hermética e, muito provavelmente, às dificuldades em serem estabelecidas as relações necessárias entre os entes químicos dos mundos submicroscópico e macroscópico.

A Química é uma ciência que utiliza uma linguagem muito particular e o domínio dessa linguagem implica que o estudante estabeleça relações conceituais entre representações nos diferentes níveis, assim como as transforme entre um nível e outro. Desse contexto, decorre que o objetivo de aprendizagem em Química implica no desenvolvimento de competências representacionais. Para Wu e Shah (2004), o desenvolvimento de competências representacionais implica em realizar ações que permitam ao estudante construir suas próprias representações e utilizá-las em contextos determinados, estabelecendo relações entre as diferentes representações.

O desenvolvimento de competências representacionais está relacionado à leitura e compreensão de sistemas de representação linguística e pictórica, as quais permitem sistemas de representação externa em cada campo de estudo, com características próprias. Eysenk e Keane (1990) reconhecem esses tipos diferentes de representações, linguísticas e pictóricas, e afirmam que a construção do discurso da ciência requer o uso sinérgico de ambos os tipos de representações *“porque nunca atribuímos significados utilizando somente a linguagem”* (LEMKE, 1997). As representações linguísticas são representações dos átomos, de caráter simbólico, que se caracterizam porque a relação entre o sinal linguístico e o que ele representa é arbitrária, enquanto as representações pictóricas são representações das moléculas, cuja estrutura se parece com a do mundo que representa, ou seja, são analógicas.

As representações linguísticas, as palavras, representadas por caracteres, agregam em si o ente a ser representado. Os símbolos são individuais e necessita-se deles para a relação. Por outro lado, as representações pictóricas, que podem ser diagramáticas, agrupam mais de um elemento descritor (que podem estabelecer vários relacionamentos) através de sua forma gráfica e têm relação analógica com o mundo, ou seja, não necessitam de símbolos individuais para indicar essa relação.

Palavras, sentenças e histórias são exemplos de representações linguísticas, enquanto os diagramas, os símbolos químicos e os modelos tridimensionais utilizados para representar a estrutura das moléculas e os esquemas de mecanismos de reações são representações pictóricas. Tanto as representações linguísticas como as pictóricas se constituem em recursos semióticos que permitem desenvolver processos internos que conduzem à atribuição de significados em contextos de conteúdos específicos (LOMBARDI; CABALERRO, 2007). Entretanto, há algumas representações pictóricas que são análogas ao modelo conceitual que representam, por exemplo, a representação de moléculas por varetas e esferas. Têm-se, também, representações pictóricas em que a relação representado/representante é arbitrária, por exemplo, aquelas

em que as relações estão mediadas pela linguagem matemática, como os gráficos cartesianos (LOMBARDI; CABALLERO; MOREIRA, 2007).

As representações pictóricas trazem informações espaciais e, por isso, contêm uma quantidade maior de informações sobre o fenômeno, trazendo em si, dessa maneira um sentido de conjunto. Por exemplo, os gráficos, os diagramas, os desenhos, as equações das reações químicas, as equações matemáticas, os símbolos e as tabelas, dentre outras, apresentam essas características, sendo classificadas como representações externas. É, portanto, comum que os docentes se apoiem nesse tipo de representação pictórica para construir o discurso pedagógico vinculado a uma disciplina particular, razão suficiente para atribuir à linguagem um lugar especial durante o processo de ensino e aprendizagem, processo cujo produto deve ser que o estudante se aproprie do discurso (CRESPO, 2008).

Para melhor compreender a questão da linguagem no ensino de Química, Laszlo (1995) faz uma analogia entre as palavras e as moléculas: *“tal como as palavras são arranjos de fonemas, as moléculas são arranjo de átomos.”* A linguística e a Química estão de acordo na exploração regulada da produtividade de uma combinação. O número de elementos disponíveis é restrito: algumas dezenas de fonemas em línguas como a portuguesa e japonesa, cerca de uma centena de elementos químicos no quadro de Mendeleiev. Essas unidades merecem uma classificação fonológica para a linguística e periódica para a Química. Enquanto as palavras inscrevem-se no tempo, as moléculas inscrevem-se no espaço. Para Laszlo (1995), a Química e a linguística também partilham da hierarquização dos conceitos: do fonema à palavra ou à frase, por um lado, do átomo ao grupo, à molécula ou ao agregado polimérico ou supramolecular, por outro.

Da mesma maneira que uma palavra engloba uma família de conceitos, uma molécula agrupa todo um conjunto de características. Por exemplo, a palavra *“solução”* é polissêmica, para alguns, tem relação com a capacidade de resolver um problema, para os químicos, tem relação com misturas homogêneas. A representação da substância água pelo diagrama H_2O , pode nos dar idéias sobre a composição química, a polaridade, a massa e reatividade da substância, além da valência dos átomos envolvidos e informações sobre outras características como massas moleculares e molares, relacionadas ao modelo submicroscópico que subjaz ao pensamento químico. As representações usadas pela Química são de natureza semiótica porque podem ser expressas e compartilhadas com outros.

Procurando compreender o papel da Semiótica na Química deve-se fazer como diz Hoffmann (2007), admitindo que a palavra é um signo, uma peça de um código. Ela significa algo, mas que deve ser decodificado ou interpretado pelo leitor (intérprete). Nesse caso, se dois leitores tiverem mecanismos decodificadores diferentes, farão leituras diferentes e podem construir significados diferentes para um mesmo signo. A Semiótica da Química fica bastante clara nas estruturas das moléculas. Não só pelos átomos que as constituem, mas pela forma como esses átomos se ligam, como se arranjam no espaço e pela facilidade com que se movem de suas posições relativas preferenciais de equilíbrio. Esses fatores associam-se às propriedades físicas, químicas e biológicas da substância, representada por uma estrutura molecular, que é reflexo (e expressa) de suas propriedades. Talvez esse seja o ponto fulcral da representação em Química, pois a informação estrutural que se necessita comunicar é, em grau considerável, inerentemente gráfica: a forma a ser desenhada estará impregnada de uma significação macroscópica. O processo todo é uma representação, uma transformação simbólica da realidade. É, ao mesmo tempo, figurativo e linguístico (HOFFMANN, 2007).

A importância das representações simbólicas na Química pode ser observada no próprio desenvolvimento dessa ciência, ou seja, as representações foram condição essencial para a evolução do pensamento químico. Laszlo (1995), ao comentar sobre a arquitetura utópica de modelos, comenta que, muitas vezes, a construção de um modelo faz-se por extrapolação, do nível microscópico, escala da molécula, para o macroscópico, escala da observação. O caminho inverso, o da redução do modelo, considera ser objeto da vida corrente. Esse tipo de abordagem também pode ser empregada no desenvolvimento do conhecimento da Química. É o caso da síntese planejada (ou racional) de fármacos, por exemplo. Nesse caso, pode-se planejar a estrutura molecular e prever sua bioatividade antecipadamente através de métodos computacionais adequados e, então, buscar sua síntese efetiva.

Um dos desafios sintéticos possíveis envolve a síntese de moléculas que reproduzam, por exemplo, os poliedros platônicos (tetraedros, octaedros, dodecaedros e icosaedros, devido à perfeição dessas formas (LAZLO, 1995). Dessa forma, várias gerações de químicos orgânicos têm rivalizado em engenho para fabricar diferentes substâncias, cujas moléculas exibam essas formas, levando a desenvolvimentos nas abordagens da síntese orgânica.

Quando Lavoisier revolucionou a Química, em 1789, o seu Discurso Preliminar é um hino à importância de uma denominação precisa e minuciosa, inspirada em Condillac (LASZLO, 1995, p. 35).

Como são as palavras que conservam as idéias e as transmitem, sucede que não se pode aperfeiçoar a linguagem sem aperfeiçoar a ciência, nem a ciência sem a linguagem, e que, quaisquer que fossem os fatos, por mais justas que fossem as idéias que os fizeram nascer, eles apenas transmitiriam impressões falsas se não tivéssemos expressões exatas para os traduzir.

Para Condillac, a descoberta científica é a congruência entre combinações de signos imaginados pelo homem e a ordem da Natureza. Os signos denotam idéias e existe uma álgebra simultaneamente necessária e harmoniosa, que lhes confere a sua ligação interna. A ciência não é mais do que a procura dessa álgebra, dessa combinação que torna as palavras aptas a dizerem coisas.

A análise da linguagem química utilizada em aulas de Química Orgânica, em particular, leva à reflexão sobre os diversos sistemas de notação (verbais, gráficos, gestuais, por exemplo) que são utilizados para expressar os entes químicos (conceitos, proposições, teorias, leis) e como esses têm feito parte dos sistemas de representação.

Mesmo apresentando uma visão estruturalista em relação a uma semiótica na Química, Lazlo (1995) e Hoffmann (2007) procuram chamar a atenção para o fato de que há uma linguagem própria para a Química. O fato das substâncias químicas serem concebidas como palavras na língua dos químicos, decalcada da linguagem natural, tem como consequência a decomposição dessas unidades formais. Assim, os erros conceituais e dificuldades de aprendizagem de conceitos químicos indicam que as representações são construtos conceituais, ou seja, requerem componentes tanto conceituais como visuais, que envolvem codificação e interpretação de convenções simbólicas (HOFFMANN; LASZLO, 1991).

O processo de construção do conhecimento científico por parte do estudante supõe o domínio dessa linguagem. Os componentes visuais e conceituais não podem ser vistos separadamente, visto que toda aprendizagem científica implica a incorporação de um vocabulário apropriado e de códigos necessários para a estruturação do pensamento e de sua comunicação (SOUSSAN, 2003). Geralmente, os conteúdos de Química (e das Ciências Experimentais) têm a particularidade de incluir (além de uma linguagem própria): gráficos, fórmulas, equações, diagramas e imagens, que podem se tornar de difícil compreensão para quem não estiver adequadamente letrado cientificamente nessa linguagem (SANTOS, 2007)).

Letramento científico consiste no domínio das linguagens e ferramentas mentais usadas em ciência para o desenvolvimento científico, em que os estudantes devem ter

conhecimento das teorias científicas e ser capazes de propor e utilizar modelos científicos. Isso exige não só o domínio vocabular, mas também a compreensão de seu significado conceitual e o desenvolvimento de processos cognitivos de alto nível de elaboração mental, envolvendo a compreensão de modelos explicativos para processos e fenômenos naturais e a solução de situações-problema, assim como o posicionamento político quanto a questões de cunho técnico-científico (SANTOS, 2007).

Em relação aos níveis de representação do conhecimento químico, Johnstone (1982) foi um dos primeiros pesquisadores a propor um modelo para explicar a relação entre os níveis de representação em seu artigo “*Macro and micro-chemistry*”. Nesse modelo, foi proposto um nível sensorial ou perceptivo (nível macroscópico), um nível molecular ou exploratório (nível submicroscópico) e um terceiro nível, o representacional (nível simbólico). Johnstone (1993) verificou inconsistências no modelo proposto e, 10 anos depois, apresenta uma nova versão para seu modelo com algumas alterações, denominando-o, agora, como “componentes de uma nova Química”; em um novo artigo (JOHNSTONE, 2000), passa a denominá-lo de “*formas de uma natureza para a Química*”. Os componentes da nova Química seriam a macroquímica do tangível, do concreto, do mensurável; a submicroquímica do molecular, do atômico e cinético; e uma Química do representacional que corresponde aos símbolos, às equações e fórmulas químicas.

Figura 2.4. Os três componentes básicos da “nova Química” (adaptado de Johnstone, 1993; 2000).

Johnstone argumenta que grande parte das dificuldades da aprendizagem em Química se deve ao fato de que o processo de ensino e aprendizagem se dá, quase que exclusivamente, em apenas um dos vértices do triângulo (macroscópico e simbólico), deixando de lado aspectos mais estruturais (correspondentes ao vértice do submicroscópico), privando o aluno de sua capacidade de modelagem. Existe uma tendência dos alunos para explicarem os fenômenos químicos no plano macroscópico, pois dificilmente possuem habilidades ou recursos simbólicos, no plano mental, para compreensão das transformações químicas em um nível que requeira maior capacidade de abstração, como é o caso do nível submicroscópico. Amparado na psicologia

de Ausubel, Johnstone (1982; 1993) defende a idéia de que, no processo de ensino e aprendizagem em Química, o aluno deverá se mover no interior do triângulo, abordando os três componentes da Química representados nos três vértices do triângulo. De acordo com esse modelo, uma transformação química pode ser explicada em cada um dos três componentes. No nível macroscópico, como descrição da situação empírica, no nível submicroscópico pode-se explicá-la pelo modelo de partículas e, no nível simbólico, representa-se a transformação química por fórmulas e equações.

O grupo de pesquisa coordenado por Treagust tem relatado vários trabalhos concernentes à habilidade de modelização e sua relação com o nível de representação submicroscópico, proposto por Johnstone. Treagust, Chittleborough e Mamiala (2003) relacionam os níveis de representação com tipos de explicações científicas, a saber: analógica, antropomórfica, relacional, baseados em problemas e modelos. A questão central desse trabalho se concentra no papel que os níveis simbólicos e submicroscópicos de representação desempenham na compreensão do fenômeno químico e na forma como essas representações fazem sentido no processo de aprendizagem. Porém, é possível perceber que os autores consideram um kit de moléculas (bola-varetas) como sendo representações no nível simbólico, ao passo que vibrações moleculares estão associadas ao nível submicroscópico de representação (TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2003). Uma representação gráfica e/ou uma fórmula estrutural são meios de materializar o ente químico, criando alguma identidade entre o representante e o representado. Assim, Treagust, Chittleborough e Mamiala (2003) concluíram que a explicitação da articulação entre os níveis do conhecimento químico seria capaz de propiciar a criação de imagens mentais pelos aprendizes e, em boa medida, realizar parte das tarefas que se atribuem ao uso de modelos físicos. Em trabalho posterior (CHITTLEBOROUGH; TREAGUST, 2007), investigou-se o papel dos modelos físicos como instâncias mediais simbólicas, concluindo que os modelos físicos desempenham um papel fundamental para que os alunos estabeleçam relações entre os níveis de representação macroscópico e submicroscópico. Em outro trabalho (CHANDRASEGARAN; TREAGUST; MOCERINO, 2007), em que também se empregaram os níveis de representação de Johnstone como referência, foi mostrado que os estudantes são capazes de manipular os três níveis de representação, mas que há necessidade de múltiplos meios de comunicação para facilitação da aprendizagem.

Rappoport e Ashkenazi (2008) problematizam os três níveis de representação propostos por Johnstone, apontando que implicam na existência de uma hierarquia entre os níveis de representação do conhecimento químico, sendo, portanto, considerados níveis de pensamento. Desse modo, propõem alterar os níveis de representação de

Johnstone para níveis de abstração, tendo-se a experiência sensória como um critério de ordenação, sendo a representação uma instância exclusiva da mente do sujeito. Fazem uma análise do triângulo proposto por Johnstone, chamando a atenção para o fato de que os níveis submicroscópico e simbólico se encontram na base, enquanto o macroscópico está no ápice (Figura 2.4). Johnstone considera o nível macroscópico como sendo concreto e, os outros níveis, como sendo de natureza abstrata. Rappoport e Ashkenazi (2008) afirmam que o triângulo, visto dessa maneira, sugere uma classificação em níveis de abstração, em que o critério de ordenação é a experiência sensorial. E, portanto, sugerem outra classificação, por níveis de complexidade, tendo como critério de ordenação a emergência. Na perspectiva da emergência, considera-se que os níveis surgem da interação de objetos em níveis mais baixos. Para a Química, considera-se que o nível macroscópico emerge a partir das interações que ocorrem no nível submicroscópico. E, para evidenciar o critério da emergência, Rappoport e Ashkenazi (2008) propõem a inversão do triângulo (Figura 2.5), considerando o nível simbólico mais relacionado com propriedades observáveis (por ser visível), mesmo reconhecendo que o nível simbólico pode ser utilizado para representar tanto o nível macroscópico como o nível submicroscópico. Portanto, esses autores propõem que o nível simbólico não seja visto como nível de complexidade, o que justifica sua posição junto ao nível macroscópico, no novo arranjo do triângulo que representa o conhecimento químico, constituindo o nível do sistema. O nível do submicroscópico corresponde ao nível dos componentes (QUEIROZ, 2009).

Figura 2.5. Triângulo na perspectiva emergente para a mudança das idéias de nível de abstração para os níveis de complexidade (adaptado de RAPPOPORT; ASHKENAZI, 2008, p. 1588).

Kermen e Méheut (2009), ao analisarem o novo currículo francês para a disciplina de Química, identificaram que embora os estudantes empreguem diferentes modelos para interpretar as transformações químicas, eles privilegiam um deles em relação a outros. No caso específico de cinética química, a maioria dos estudantes praticamente não usa os dois modelos macroscópicos e nenhum deles recorreu ao modelo cinético microscópico. Ao buscar compreender a razão de os estudantes apresentarem mo-

delos explicativos incompletos, foi proposto um novo esquema (Figura 2.6) para interpretar a relação entre os diferentes níveis do conhecimento químico.

Figura 2.6. Níveis empíricos e o nível de modelo conectado com as representações simbólicas (adaptado de KERMEN; MÉHEUT, 2009).

Kermen e Méheut (2009) não usam a figura do triângulo de Johnstone (1982), mas sim, a figura de um tetraedro porque distinguem o nível empírico (macro) dos modelos macroscópicos que o interpretam. Por outro lado, afirmam que as representações simbólicas são usadas para nomear e descrever componentes de componentes de modelos, tanto macroscópicos como microscópicos (segunda parte do nível empírico). Acreditam que o modelo do tetraedro poderia ser uma ferramenta útil para professores perceberem com que frequência os modelos explicativos dos alunos se movem de um nível a outro e, principalmente, identificar as dificuldades que os estudantes apresentam para interpretar fenômenos químicos. Talanquer (2011), diferentemente de Kermen e Méheut (2009), ampliando a idéia apresentada por essas autoras, propõe-se a considerar o conhecimento químico em sua complexidade.

Talanquer (2011) faz uma análise acerca das suposições subjacentes às idéias de Johnstone (1982), mostrando que foram tema de vários trabalhos de pesquisa sobre o ensino de Química, além de servirem como fundamento em reformulações curriculares e propõe uma nova estrutura para melhor situar a questão dos níveis de representação em Química, ou seja, uma interpretação pedagógica da natureza e estrutura do conhecimento químico (Figura 2.7). Essa nova estrutura procura apontar algumas saídas para os problemas enfrentados em explicitar quais dos níveis são realmente representações. O modelo de Talanquer (2011) propõe uma divisão entre o nível experimental (macroscópico/experiências) e o representacional (submicroscópico e simbólico/modelo e visualização).

Nesse modelo apresentado Talanquer (2011) apresenta os vértices do triângulo fazendo uma distinção entre o que ele considera no nível de experiências, modelos e visualizações. Mesmo trazendo algumas contribuições que poderiam permitir uma diferenciação entre o que seria um modelo mais abstrato e o que seria visualizações de

caráter mais concreto, sua alocação nos vértices do triângulo procura distinguir o que é representação do que é experiência, o que na perspectiva da semiótica parece ser indissociável na construção do conhecimento, visto que a materialização de um modelo e sua compreensão ocorre por meio de sucessivas e múltiplos processos representacionais.

1- *Experiências*: incluem nosso conhecimento descritivo de substâncias e transformações químicas, adquirido de forma direta (pelos sentidos) ou indireta (usando instrumentos). Experiências remetem ao conhecimento empírico atual que se tem sobre os sistemas químicos.

2- *Modelos*: incluem o descritivo, explicativo e modelos teóricos que os químicos desenvolveram para dar sentido ao mundo experimental. Modelos se referem às entidades teóricas e às suposições subjacentes que são descritas como sistemas químicos atribuindo a eles algum tipo de estrutura interna, composição, mecanismos explicativos ou preditores das várias propriedades desses sistemas.

3- *Visualização*: sinais visuais estáticos e dinâmicos (de símbolos para ícones) desenvolvidos para facilitar o pensamento qualitativo e quantitativo e a comunicação sobre experiências e modelos em química. Visualização remete aos símbolos químicos, fórmulas, desenhos de partículas, equações matemáticas, gráficos, animações, simulações e modelos físicos usados para visualizar os componentes representacionais do modelo teórico.

Figura 2.7. Escalas do conhecimento químico. A imagem representa um espaço multi-dimensional definido pelos diferentes níveis de dimensões e abordagens nos três tipos de conhecimento (experiências, modelos e visualização) que podem ser conceitualizado (TALANQUER, 2011. p. 181).

Mortimer, Machado e Romanelli (2000) redimensionam os níveis de representação na literatura sobre Educação Química no Brasil, sendo definidos como os “*três aspectos do conhecimento químico*”: fenomenológico ou empírico, teórico ou “*de modelos*” e

representacional ou da linguagem. Esses três componentes, fenômeno, linguagem e teoria, deveriam comparecer igualmente nas interações em sala de aula, uma vez que a produção de conhecimento em Ciências resultaria, sempre, da relação dinâmica/dialética entre experimento e teoria, pensamento e realidade. Relação que só seria possível através da ação mediadora da linguagem.

Mortimer *et al.* (2007), em outro estudo, classificam a questão da representação no ensino de Ciências em três conjuntos de categorias – modelagem, níveis de referencialidade e operações epistêmicas. As ações da linguagem, por meio das quais o conhecimento científico é apresentado na sala de aula, envolvem a produção de enunciados que ora tomam como base referentes do mundo concreto (macroscópico), ora tratam de referentes do mundo abstrato (submicroscópico), como mostrado na Figura 2.8.

Figura 2. 8. Movimentos epistêmicos (adaptado de MORTIMER *et al.*, 2007).

Os movimentos epistêmicos sinalizados pela Figura 2.8 conectam o mundo possível concebido por meio das teorias, modelos e conceitos das ciências com o mundo vivido ou mundo da experiência, no interior do qual estão situados os objetos e eventos que constituem nosso conceito sócio-histórico de “*realidade*”. De acordo com Paula e Alves (2007), do ponto de vista dos níveis de referencialidade, a passagem de referentes concretos (mundo das substâncias e eventos) a referentes abstratos (mundo das teorias e conceitos) e vice-versa, geralmente, implica na produção de enunciados que envolvem classes de referentes (signos, símbolos ou o próprio ente químico).

Ainda sobre a questão da representação do conhecimento químico, encontram-se alguns trabalhos que não derivam diretamente do modelo proposto por Johnstone como, por exemplo, o estudo de Wu, Krajcik e Soloway (2001) que, mesmo fazendo referência aos níveis de representação de Johnstone, procuram analisar diferentes estratégias didáticas que combinem múltiplas formas de representação. Os autores manifestam preocupação em apresentar uma base epistemológica para a noção de representação, como se pode observar pela discussão das representações químicas como construtos teóricos provenientes da interpretação que os químicos fazem da natureza

e da realidade: as fórmulas moleculares, os gráficos, as equações químicas, os modelos geométricos deveriam ser compreendidos como substitutos racionais das substâncias, em determinado contexto. Para Wu (2003), o desenvolvimento de competências representacionais implica em realizar ações que permitam ao estudante construir suas próprias representações, utilizá-las em determinado contexto e poder estabelecer relações entre as diferentes representações.

2.2.3. Aproximações entre a semiótica peirceana e a representação no Ensino de Química

Com exceção dos dois últimos trabalhos (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001/ WU, 2003), verifica-se que, em todos os modelos propostos para a questão da representação em Química há uma relação triádica, representada pela figura de triângulo, fato que sugere a possibilidade de possíveis relações com a semiótica de Charles Sanders Peirce, que também se apresenta como uma relação triádica entre objeto, signo e interpretante. É necessário deixar claro que essa hipótese não contempla a idéia de que haja correspondência direta entre as categorias de Peirce e cada um dos vértices do triângulo de Johnstone (Figura 2.4) pois, em cada nível do conhecimento químico (macroscópico, submicroscópico ou representacional), ocorreriam relações entre signo, objeto e interpretante.

Os três tipos de raciocínio para Peirce são: Abdução (Primeiridade), Dedução (Secundidade) e Indução (Terceiridade). A compreensão dos três tipos de raciocínio lógico como estágios sucessivos de um mecanismo para a descoberta científica nos fornece subsídios enriquecedores para a criação de mecanismos de síntese semiótica em processos de elaboração conceitual em Química. Diante de qualquer fenômeno, isto é, para conhecer e compreender qualquer coisa, *a consciência produz um signo*, ou seja, um pensamento como mediação irrecusável entre nós e os fenômenos, em nível do que se chama de percepção.

Perceber não é senão traduzir um objeto de percepção em um julgamento de percepção, ou melhor, é interpor uma camada interpretativa entre a consciência e o que é percebido. Nessa medida, o simples ato de olhar já está carregado de interpretação, visto que é sempre o resultado de uma elaboração cognitiva, fruto de uma mediação sógnica que possibilita nossa orientação no espaço por um reconhecimento e assentimento diante das coisas, que só o signo permite. O homem só conhece o mundo porque, de alguma forma, o representa e só interpreta essa representação a expressando em uma outra representação, que Peirce denomina interpretante da primeira. Portanto,

o conhecimento do signo depende de signos, isto é, aquilo que é representado pelo signo (SANTAELLA, 1998).

No pensamento de Peirce, encontra-se o conceito de que tudo o que é apreendido pela mente é apreendido com o caráter de signo, sendo, nesse sentido, o próprio pensamento constituído em uma corrente de signos. Essa idéia sintetiza o problema central das teorias que investigam os processos de representação e significação.

No conceito de representação defendido por Peirce, percebe-se que o sentido dessa palavra diz respeito à ação de colocar diante dos olhos, ou diante do espírito de alguém, uma produção de sentidos, uma construção formada pela reunião de três outras palavras “*re*”, “*present*” e “*action*”, que nos leva a pensar em, ao menos, três outras possibilidades: a existência da coisa ou objeto (“*present*”), a mobilização do sujeito (“*action*”) que se apropria desse objeto ou coisa e a representação dessa apropriação que se constituirá em uma “presença nova” do objeto enunciado, através do prefixo “*re*”. *Não é a presença do objeto em si mesmo que lhe confere o estatuto de sua representação, mas, sobretudo, a idéia (consciência interpretativa) do indivíduo sensível que age sobre esse objeto, conferindo-lhe sentido, para produzir uma representação concernente ao que ele percebe no mundo* (MEUNIER, 2002).

No instante em que se considera a “linguagem” como “representação” e se entende que para interpretar o universo que nos cerca é necessário criar linguagens para se o representar, Peirce vê a representação como um conteúdo apreendido pelos sentidos, pela memória, pela imaginação, pelo pensamento, e caracteriza a semiótica como a “Teoria Geral dos Signos” ou “Teoria Geral das Representações”. Pois, na concepção de Peirce, um signo é aquilo que, sob certa perspectiva, representa algo para alguém, ocupando o lugar de alguma outra coisa, percebida sob algum de seus aspectos ou capacidades (PEIRCE, 2005). Ele se dirige a alguém, ou seja, cria na mente dessa pessoa um signo equivalente, ou melhor, um signo mais desenvolvido. A esse que aquele cria, denominou-se interpretante do primeiro signo. O signo relaciona-se a algo, seu objeto: não em todos sentidos, mas somente no que se refere a um tipo de idéia que, algumas vezes, é chamado de fundamento do *representamen* (MORENTIN, 2008).

A ação do signo, que é a ação de ser interpretado, apresenta o movimento autogerativo, pois ser interpretado é gerar outro signo, que gerará outro e, assim, infinitamente (SANTAELLA, 2000). Quando se deseja distinguir entre aquilo que representa e o ato, ou relação, de representar, pode-se atribuir, ao primeiro, o nome de *representamen* (Figura 2.3, p. 48) e, ao último, de representação. Ao diferenciar aquilo que con-

têm qualidades do signo e aquilo que as põe em relação, Peirce aponta para o papel da representação na constituição das categorias semióticas, propondo ser esse o de relação de apresentação de algo qualitativamente distinto daquilo que o traz à tona para algum interpretante (FERRAZ, 2009).

A principal característica do signo é que ele é sempre institucional, estabelecido por convenção, o que o diferencia de um sinal (TÁLAMO, 1997). Dada sua natureza relacional, o signo não existe enquanto entidade física observável e estável: o signo sempre é uma representação parcial do objeto, sendo produto de uma série de relações no interior do sistema em que é formulado – na língua, no sistema da moda ou na linguagem gestual, por exemplo.

O triângulo semiótico (Figura 2.9) tem sido referido como um elemento através do qual se pode explicar o processo de significação. É preciso lembrar, entretanto, que há várias versões do triângulo, cujas diferenças não se restringem às diferentes denominações dadas a seus vértices. Embora, em geral, se concorde com a tripartição, sua interpretação varia muito, conforme pode ser visto na Figura 2.3 (p. 48) e 2.10 (p. 64). Na versão de Peirce, o funcionamento do signo pode ser expresso pela imagem mostrada na Figura 2.9.

Essa estrutura é um instantâneo estático de um processo gradativo em que as informações sobre um objeto, embora não diretamente acessíveis epistemicamente, são geradas dentro de um sistema interpretante, através de sequências de interpretantes informados por um sinal de desenvolvimento (por vezes referido como "*representamen*" (Figura 2.3, p.48). Em síntese:

"(...) aquilo que provoca o signo é chamado de 'objeto' (para sermos mais precisos: objeto dinâmico). Signo é determinado por alguma espécie de correspondência com esse objeto. Ora, a primeira representação mental daquilo que o signo indica é denominada 'objeto imediato'. Esse objeto (representação mental) produz triadicamente o efeito pretendido do signo (isto é, seu interpretante) através de outro signo mental. Essa natureza triádica da ação é essencial para que o signo funcione como tal" (SANTAELLA, 1983, p. 55).

Figura 2.9. Representação da semiose ou da ação do signo (adaptado de SANTAELLA, 1983).

Santaella (2005) propõe que o significado se desloca incessantemente: o signo representa algo (o seu objeto). O objeto de qualquer signo tem duas faces: o “*objeto imediato*” e o “*objeto dinâmico*”. O primeiro é interno ao signo e consiste, como afirma Santaella (2005, p. 45), no modo como o objeto dinâmico se apresenta no próprio signo. O segundo é externo ao signo e corresponde à realidade que, de alguma forma, realiza a atribuição do signo à sua representação, ou seja, corresponde à coisa representada tal como ela é. Alguém em cuja mente se processará sua remessa para outro signo, onde o seu sentido se traduz. Assim, como afirma a ação que é própria do signo é a de ser interpretado em outro signo, ou seja, a de determinar um interpretante. O interpretante seria, dessa maneira, um signo que desenvolve um signo anterior, em um processo de semiose contínua. Conforme Santaella (2005), o interpretante não é qualquer signo, mas o efeito causado por um signo em uma mente. Assim, algo só funciona como signo se for interpretado. Caso contrário, torna-se apenas um signo virtual, que pode se atualizar como signo tão logo encontre um intérprete. Observa-se, então, o potencial infinito das coisas para funcionar como signo: qualquer coisa pode funcionar como signo, basta que encontre um intérprete. Tal “*propriedade objetiva do signo para significar*”, como mostra Santaella (2005, p. 47), corresponde ao “*interpretante imediato*”. Ao ser interpretado, o registro antigo do exemplo produz na mente de seus intérpretes um efeito, chamado por Peirce de “*interpretante dinâmico*”.

Na definição do próprio Peirce, o Objeto pode se referir ao “Objeto Imediato, que é o Objeto tal como o próprio Signo o representa, e cujo Ser depende assim de sua representação no Signo”, ou ao Objeto Dinâmico, “*que é a Realidade que, de alguma forma, realiza a atribuição do Signo à sua Representação*” (PEIRCE *apud* SANTAELLA, 2000, p. 39). Em síntese, nessa perspectiva, o signo é um primeiro, o objeto um segundo e, o interpretante, um terceiro.

Fazendo uso da classificação de signos proposta por Peirce, Santaella (2001) sugere três tipos de relações entre três espécies de signos (ícone, índice e símbolo – Quadro 2.5) e três distintas formas de representação da imagem (não-representativas, figurativas e representativas). Segundo a autora, se pode estabelecer três espécies de relações entre o signo e a forma de apresentação do objeto representado:

- (1) “num primeiro nível, em correspondência com o ícone, surgem as Formas não-representativas” (2001, p. 209), formas não-identificáveis, não-definíveis, que na imagem televisiva se apresentam, na maioria das vezes, como um fundo que busca apenas valorizar a figura em cena – utiliza-se aqui os conceitos de figura e fundo amplamente difundidos pelas pesquisas da gestalt (SANTAELLA, 2001, *apud* ARNHEIM, 2005 e DONDIS, 2003);
- (2) “no segundo nível, em correspondência com o índice, as Formas figurativas”, nas quais existe a denotação – no caso do cenário, por exemplo, se pode reconhecer uma sala de estar, um *foyer*, diferenciar uma enseada de uma gruta, por exemplo; (SANTAELLA, 2001, p.209) e,
- (3) “num terceiro nível, em correspondência com o símbolo, as Formas representativas ou simbólicas”, quando a imagem passa a estabelecer relações de significado com os outros elementos da cena – com a música, o texto, o contexto, por exemplo. Quando há uma situação sincrética que possibilita o entendimento da mensagem. (SANTAELLA, 2001, p.209).

Quadro 2.3- Categorias de signos de percepção da linguagem.

O *ícone* é um signo que media o objeto através de uma qualidade comum, sendo assim relativo à Primeiridade. O *índice* é um signo que funciona como pura referencialidade, apontando para algo com o qual está ligado. Por pressupor a relação, pertence à categoria da Secundidade. Já o *símbolo* constitui o signo no seu caráter mais elaborado, representativo, interpretativo, e, portanto, ligado à Terceiridade.

De acordo com Santaella (2008), o signo tem uma natureza triádica, quer dizer, ele pode ser analisado: a) em si mesmo, nas suas propriedades internas, no seu poder de significar; b) na sua referência àquilo que indica, se refere ou representa; c) nos tipos de efeito que está apto a produzir nos seus receptores.

Por exemplo, considerando-se a representação da reação de combustão do etanol através da equação química apresentada convencionalmente na Equação 2.1.

Por ser uma representação de natureza majoritariamente simbólica, não abrange todos os aspectos relacionados à combustão do etanol, e menos ainda, se considerarmos o processo de combustão do etanol em um motor de automóvel, de maneira mais geral. Assim, os aspectos macroscópicos (liberação de gases, calor, expansão de volume do sistema, dentre outros aspectos característicos) e as modificações estruturais (em nível teórico-conceitual) não são contemplados por essa representação

simbólica, por exemplo, nem os aspectos ambientais e econômicos associados ao processo de produção, consumo e transformação do etanol. Ao ser apresentada a um intérprete em potencial (estudantes), a ação da Equação 2.1 enquanto signo é a de se desenvolver em um interpretante que busca se completar, ou seja, sua tendência é crescer, desenvolvendo-se em outro signo, para o qual é transferido o foco da representação. A ação do signo de “*estar no lugar de*” só se completa se houver alguém (ou algo) capaz de interpretar essa relação. Nesse contexto, a semiose é usualmente definida como um processo de atividade característico da capacidade humana de produção e entendimento de signos.

Nesse caso, utilizar-se das referidas categorias filosóficas de Peirce pode ajudar-nos a compreender os objetos sígnicos, como a representação do conhecimento químico no poder de representação dos signos em seus contextos de estudo. Portanto, conclui-se que a Semiótica Peirceiana apresenta um potencial teórico muito rico para, também, discutir a questão das representações do conhecimento químico, sobretudo hoje, no ambiente das múltiplas linguagens e, principalmente, dos ambientes virtuais. Outro modelo do triângulo semiótico, agora na versão de Ogden e Richards, é apresentado na Figura 2.10.

Figura 2.10. Diagrama triangular de Ogden e Richards (PIGNATARI, 1987, p. 42).

Segundo Coelho Netto (2001), um signo é uma relação triádica ordenada e completa. O signo não é um dos elementos do triângulo, uma de suas pontas, um membro na relação. O signo é a reunião das três pontas, a relação toda e completa, a totalização dos três vértices do triângulo. Por meio da Figura 2.12, é possível perceber que Peirce propõe que a semiose ilimitada é um processo semiótico que "*não começa com signos autônomos e sentidos independentes para seguir até o mais alto nível do sentido global*" (NÖTH, 1998, p. 73). Isto quer dizer que o processo de semiose é referencial, onde não há nem um primeiro nem um último signo, pois cada signo cria um in-

interpretante, ou referência, que pode tornar-se representamen de um outro signo, indefinidamente. Essa seria a síntese do princípio da semiose ilimitada (SOUZA, 2006), que se torna possível pela geração de novos interpretantes. É o processo da interpretação que nos permite captar um processo de significação como um todo. Para Peirce, não há dicotomias entre externo e interno já que, para a semiótica peirceana, a representação é contextual.

Como ressalta Granger (1979), além de o caráter triangular da ligação signíca à sequência de interpretantes, o interessante da proposta Peirceana é que o objeto do signo é ele mesmo definido como signo, ou seja, não remete a uma idéia isolada, mas a uma estrutura simbólica da qual ele é elemento. A semiótica, como teoria do signo, apresenta-se como uma relação que pode ser abstraída em correlatos - termos da relação. De fato, signo é um padrão percebido que articula itens, qualidades, acontecimentos, processos e, em um sentido amplo, é uma relação entre três elementos, portanto, triádica. Os signos são representações que permitem a observação dos fenômenos (que se apresentam à percepção e à mente) que, por sua vez, podem ser classificados em três categorias universais propostas por Peirce (2005). Peirce conclui que tudo que aparece à consciência, assim o faz numa gradação de três propriedades que correspondem aos três elementos formais de toda e qualquer experiência. Essas categorias devem ser estudadas a partir de três perspectivas, a saber: do ponto de vista das Qualidades, do ponto de vista dos Objetos e do ponto de vista da Mente. Em 1867, essas categorias foram denominadas: 1) qualidade; 2) relação e 3) representação. Algum tempo depois, o termo Relação foi substituído por Reação e o termo Representação recebeu a denominação mais ampla de Mediação. Mas, para fins científicos, Peirce preferiu fixar-se na terminologia de Primeiridade, Secundidade e Terceiridade, por serem palavras inteiramente novas, livres de falsas associações a quaisquer termos já existentes, como bem expresso por Santaella (2002) (vide Quadros 2.4 e 2.5; Figura 2.11).

Categorias	O signo em relação a si mesmo (significação)	O signo em relação ao objeto (objetivação)	O signo em relação ao interpretante (interpretação)
Primeiridade	Quali-signo	Ícone	Rema
Secundidade	Sin-signo	Índice	Dicente (dici-signo)
Terceiridade	Legi-signo	Simbólico	Argumento

Quadro 2.5. Classificação dos signos semióticos (adaptado ALMEIDA; SILVA; VERTAUN, 2011, p. 11).

Peirce, no início de seus trabalhos, estabelece três tricotomias do signo. A primeira tricotomia envolve a natureza material do signo, se dá em relação ao signo consigo mesmo por uma qualidade (*quali-signo*), uma singularidade (*sin-signo*) ou uma lei ge-

ral (*legi-signo*). A segunda tricotomia diz respeito à relação do signo com seu objeto. Dessa forma, um signo pode ser um ícone, um índice ou um símbolo. A terceira tricotomia relaciona o signo a seu interpretante. Um signo pode ser um *rema*, um *dici-signo* ou um argumento. A relação entre essas tricotomias gera 10 classes de signos, formando a percepção, que se dá em três níveis: primeiridade, secundidade e terceiridade, como mostrado no Quadro 2.5. Os elos entre estes três tipos de signo são representados na Figura 2.11.

- a) Primeiridade:** o primeiro (primeiridade) é presente e imediato, de modo a não ser segundo para uma representação. Ele é fresco e novo, porque, se velho, já é um segundo em relação ao estado anterior. Ele é iniciante, original, espontâneo e livre, porque senão seria um segundo em relação a uma causa. Ele precede toda síntese e toda diferenciação; ele não tem nenhuma unidade nem partes. Ele não pode ser articuladamente pensado; afirme-o e ele já perdeu toda sua inocência característica, porque afirmações sempre implicam a negação de uma outra coisa. Consciência em primeiridade é qualidade de sentimento e, por isso mesmo, é primeira, ou seja, a primeira apreensão das coisas, que para nós aparecem, já é tradução, finíssima película de mediação entre nós e os fenômenos. Qualidade de sentir é o modo mais imediato, mas já imperceptivelmente medializado de nosso estar no mundo. Sentimento é, pois, um quase-signo do mundo: nossa primeira forma rudimentar, vaga, imprecisa e indeterminada de predicação das coisas. Esse estado-quase, aquilo que é ainda possibilidade de ser, deslancha irremediavelmente para o que já é, e no seu ir sendo, já foi. Entra-se no universo do segundo.
- b) Secundidade:** Há um mundo real, reativo, um mundo sensual, independente do pensamento e, no entanto, pensável, que se caracteriza pela secundidade. Esta é a categoria que a aspereza e o revirar da vida tornam mais familiarmente proeminente. É a arena da existência cotidiana. Estamos continuamente esbarrando em fatos que nos são externos, tropeçando em obstáculos, coisas reais, factivas que não cedem ao mero sabor de nossas fantasias. Certamente, onde quer que haja um fenômeno, há uma qualidade, isto é, sua primeiridade. Mas a qualidade é apenas uma parte do fenômeno, visto que, para existir, a qualidade tem de estar encarnada numa matéria. A factualidade do existir (secundidade) está nessa corporificação material. A qualidade de sentimento não é sentida. Falar em pensamento, no entanto, é falar em processo, mediação interpretativa entre nós e os fenômenos. É sair, portanto, do segundo como aquilo que nos impulsiona para o universo do terceiro.
- c) Terceiridade:** aproxima um primeiro e um segundo numa síntese intelectual, corresponde à camada de inteligibilidade, ou pensamento em signos, através da qual representamos e interpretamos o mundo. Algumas das idéias de terceiridade que, devido à sua importância na filosofia e na ciência, requerem estudo atento são: generalidade, infinitude, continuidade, difusão, crescimento e inteligência. Mas a mais simples idéia de terceiridade é aquela de um signo ou representação.

Quadro 2.4. Gradação de três propriedades que formam as categorias de Peirce.

Figura 2.11. Representação da semiose ou da ação do signo (adaptado de SANTAELLA, 1999).

O *representamen* é um signo primeiro. Ele não remete diretamente ao objeto representado que é um segundo. Para representá-lo, ele precisa da mediação do signo do pensamento, o interpretante que é um terceiro. Logo, não existe uma relação estreita entre signo e objeto; o signo só representa um objeto via interpretante que pode, também, se tornar um outro *representamen*, que convoca outro interpretante, que o levará a outro objeto e assim por diante (SOUZA, 2006). Em razão de inicialmente aproximar a concepção de *representamen* à de signo, Peirce reavalia sua perspectiva ao afirmar que o *representamen* atua como o fundamento do signo, ou seja, aquilo que contém as qualidades do signo. “Quando se deseja distinguir entre aquilo que representa e o ato ou relação de representar, podemos dar, ao primeiro, o nome de *representamen* e, ao último, de *representação*” (PEIRCE, 2005).

Ao diferenciar aquilo que contém as qualidades do signo daquilo que as relaciona, Peirce salienta que a representação exerce o papel de relação de apresentação, na constituição das categorias semióticas, algo qualitativamente distinto daquilo que traz o signo à tona para algum interpretante.

Para Santaella (SANTAELLA, 2004, p. 07) “o signo é um primeiro (algo que se apresenta à mente), ligando um segundo (aquilo que o signo indica, se refere ou representa) a um terceiro (o efeito que o signo irá provocar em um possível intérprete)”. Em um contexto de aprendizagem em Química, a Primeiridade pode ocorrer quando um estudante visualiza pela primeira vez, na lousa, um traço ou um gráfico, por exemplo, sem fazer referência a nada, somente ao traçado registrado e, nesse caso, há somente uma primeira impressão. A Secundidade refere-se à experiência, às idéias de dependência, determinação e a ação e reação. Quando o estudante vê o traço ou o gráfico na lousa e, imediatamente, o relaciona a um objeto químico. Por exemplo, ao visualizar o traço, faz relação com uma ligação simples ou, ao visualizar um gráfico, o relaciona com o ponto de ebulição da água. Já a Terceiridade, refere-se à generalidade, continuidade e crescimento. A Terceiridade corresponde a uma relação triádica entre o signo, o objeto e o interpretante (cada representação é interpretada por meio de outra; a essa nova representação, Peirce denomina de interpretante da primeira). O estudante estará a caminho da Terceiridade quando seu olhar sobre o traço, ou sobre o gráfico, estiver carregado de interpretação, de busca de explicações, de análises e generalizações, de modo que ele possa interpretar o fenômeno em questão.

A seguir, serão exemplificadas as três categorias de signos: *ícone*, *índice* e *símbolo*, através da relação do signo com seu objeto. Como exemplo de ícone no processo de construção do conhecimento químico, pode-se imaginar a utilização de um modelo

molecular (concreto, do tipo bola-vareta ou de uma imagem virtual; Figura 2.12) para a água, no contexto de uma aula sobre a descontinuidade da matéria.

Figura 2.12. Imagem virtual das interações entre as moléculas de água.

Quando o professor se utiliza desse tipo de recurso em sua aula, a atenção dos estudantes será dirigida para as esferas distintas, provavelmente de colorações diferentes e ligadas entre si. Esse tipo de representação tem a intenção explícita de enfatizar duas propriedades: a descontinuidade da matéria nas unidades discretas da molécula, bem como a tridimensionalidade do ente molecular. Dessa forma, por semelhança com a teoria de Dalton sobre a descontinuidade da matéria, as bolas de coloração mais clara simbolizam os átomos de hidrogênio, as bolas de coloração mais escura simbolizam os átomos de oxigênio e as linhas tracejadas as ligações de hidrogênio. Nesse tipo de exemplo de ícone, uma pessoa sem o mínimo conhecimento químico (intérprete) e, portanto, que nunca tenha tido contato com a idéia de molécula (objeto), poderá identificar no ícone (modelo molecular concreto) unidades discretas distintas, separadas por algo que as une. Tem-se, portanto, a função de promover associações, por semelhança, de propriedades entre o ícone (modelo molecular) e seu objeto (ente molecular) (GOIS; GIORDAN, 2007).

Como exemplo de índice no processo de representação do conhecimento químico, pode-se utilizar a letra **C** para representar a palavra **Carbono**, a letra **H** para representar a palavra **Hidrogênio** e a letra **O** para representar a palavra **Oxigênio**. O professor, ao utilizar tal simbologia, provavelmente terá a atenção do estudante dirigida para os elementos químicos carbono, hidrogênio e oxigênio que, nessa situação, geralmente têm apenas o nome como principal propriedade. Os índices promovem significação pelo fato de indicarem o objeto e de serem automaticamente afetados por ele, de forma que a indefinição do objeto acarreta a perda do significado pretendido. De acordo com a atividade proposta pelo professor, a representação mental do estudante, poderá se iniciar em ícone ou índice e evoluir para símbolo genuinamente representado. Um mesmo exemplo poderá assumir as três categorias, que, de acordo com Peirce, não são fixas. Assim, a representação (Figura 2.13) para a molécula de etanol pode ser

considerada um símbolo para a comunidade de químicos e pode não ser um símbolo para um estudante que entrar em contato, pela primeira vez, com essa representação.

Figura 2.13. Representação estrutural de uma molécula de etanol.

Como exemplo de símbolo, pode-se citar a palavra '*etanol*' em uma aula sobre funções orgânicas. Antes mesmo de o professor explicar os diferentes compostos no contexto das funções orgânicas, mais especificadamente, esse nome como identificador de um dos componentes da função álcool, ao se pronunciar a palavra etanol, vem à mente do estudante a idéia cotidiana do combustível, do caro flex, da usina de álcool, da cana-de-açúcar, por exemplo. Como as categorias não são fixas podem-se encontrar estudantes que não consigam fazer tais relações e, nesse caso, a construção da representação pelo aluno poderá se iniciar em ícone e se deslocar para símbolo. Caso o estudante não consiga evoluir para símbolo e apenas memorize a representação sem a alterar de ícone para símbolo, poderá causar haver degenerescência (GOIS; GIORDAN, 2007).

Para melhor compreender tal questão, é necessário entender os conceitos de Genuinidade e Degenerescência, que descrevem o tipo de relação que a mente interpretadora estabelece entre o signo e o objeto que ela intenta representar. Quando o signo substitui o objeto por meio de uma regra estabelecida culturalmente, ou seja, é um símbolo, ele adquire o caráter de um signo genuíno, pois apresenta a capacidade de representar algo com grande generalidade, tanto em seu alcance coletivo, quanto na definição comum de seus significados (PIMENTA; SILVEIRA Jr, 2009).

Peirce reconhece a limitação do signo: ele não é o objeto. Por exemplo, ao usarmos o símbolo CO_2 (g) em uma aula de Química, pode-se afirmar que tal símbolo é diferente do gás carbônico. Feitas essas ponderações, pode-se afirmar que as fórmulas químicas, diagramas e analogias, por exemplo, são signos que apresentam perdas em sua representatividade e, conforme são apresentadas, podem até mesmo configurar um signo degenerado, na medida em que fornecem apenas a iconicidade de um objeto, ao passo que experimentos ou exemplos físicos, que descrevam o conceito, engendram símbolos genuínos, sobretudo porque proporcionam a experiência colateral,

ou seja, a presença do objeto dinâmico. Isso não implica que os símbolos que apresentem apenas o objeto imediato, aquele intrínseco ao signo, sejam necessariamente degenerados. O que caracteriza a degeneração simbólica é a ausência do aspecto indicial, aquilo que remete à existência, ou a iconicidade geral, que fornece corporalidade ao objeto representado. Em processos de ensino e aprendizagem de Química é necessário levar em consideração a possibilidade de um signo não se referir a um seu objeto dinâmico, visto que, para vários entes químicos têm-se apenas modelos, como é o caso de átomos, íons e moléculas, por exemplo.

O campo de estudo e de aplicações da Semiótica no âmbito do ensino de Química pode ser percebido, ou no fato da importância dos signos na compreensão dos entes químicos, ou pelo fato de que os conceitos químicos não independem das representações. Por exemplo, na qualificação dos signos (Quadro 2.5, p. 69), quando um signo em relação ao seu interpretante for um signo que designa qualidade (Primeiridade), trata-se de rema (conjectura ou hipótese); quando o signo se referir à existência (Secundidade), trata-se de dicente. O sin-signo indicial gera um interpretante dicente e, quando o signo em relação com seu objeto se referir a uma lei (Terceiridade), caracteriza-se um argumento. Portanto, os legi-signos simbólicos geram argumentos.

Um bom exemplo para entender a relação entre as categorias é a análise de uma situação de estudo sobre a influência da temperatura na solubilidade de alguns sais, que pode ser usada como referência para a busca de Primeiridade, Secundidade e Terceiridade, bem como para a identificação de objetivação, interpretação e significação. Assim, considerando-se que gráfico apresentado na Figura 2.14, fosse fornecido pelo professor a estudantes do Ensino Médio para iniciar o estudo da solubilidade dos sais KNO_3 , KBr e NaCl , em uma aula de Química.

Figura 2.14. Curvas de solubilidade em água, em função da temperatura, dos sais KNO_3 , KBr e NaCl .

Nesse momento, os teriam uma primeira impressão (Primeiridade) do que esta representação inicial significa, enquanto um problema a ser estudado. Nesse primeiro contato, os estudantes não têm em mente a qual fenômeno químico esses dados se referem, ou seja, em contato com o signo, não fazem referência a coisa alguma, somente ao traçado registrado, sem relacioná-lo a propriedades ou outras representações desse objeto. Em relação à qualificação dos signos, caracteriza-se que o gráfico informa uma qualidade da situação de estudo, na relação do signo em si mesmo (significação), trata-se de um quali-signo; na relação com o objeto (objetivação), é um ícone (figura), que apresenta um objeto que ainda será caracterizado; e, na relação do signo com o interpretante (o signo que se criou na mente dos alunos), é uma rema. Nesse caso, pode-se afirmar que haveria compreensão por parte dos alunos com relação ao tema que se pretende estudar, caso as relações de significação, objetivação e interpretação fossem estabelecidas.

Em outra situação, os estudantes decidem investigar em quais temperaturas as solubilidades dos sais são semelhantes e em quais temperaturas a solubilidade de um sal é maior do que a do outro, em água, definindo uma situação-problema (estudo do fenômeno da solubilidade). A partir do contato com o quali-signo icônico (o gráfico), gerou-se um interpretante remático e, com as informações apresentadas no texto, que acompanham o gráfico, se propuseram a estudar o problema, ao fazerem relações de significação, objetivação e interpretação no desenvolvimento da atividade. Os estudantes observaram um signo (o gráfico), que representa algo em lugar de outra coisa e, a partir desse signo, os estudantes identificaram o problema que iriam investigar e a existência de algo a ser investigado, estabelecendo uma relação diádica entre o estado de “quase” e uma determinação, que corresponde a uma relação de dependência entre dois termos (Secundidade).

Para resolver o problema, os estudantes trataram da questão da massa de sal dissolvida de cada sal em diferentes temperaturas e, a partir das informações apresentadas no gráfico, construíram uma tabela relacionando a temperatura com a massa correspondente de cada sal dissolvida em água. Essa construção seria uma primeira tradução das informações, realizada pelos estudantes. Adentram a categoria Terceiridade, pois, para construírem a tabela, os estudantes interpretam o gráfico apresentado e a partir de algumas considerações estabelecidas por eles ou, até mesmo, a elaboração de uma função matemática que permite fazer generalizações sobre o comportamento das substâncias, planejam o experimento. Na relação do signo consigo mesmo, a tabela é um legi-signo; na relação do signo com o objeto, é um símbolo e, na relação do signo com o interpretante, a tabela é um argumento, pois representa o fenômeno

químico da solubilidade dos dois sais em água, a diferentes temperaturas. O estudante está no caminho da Terceiridade quando seu olhar para o traçado estiver carregado de interpretação, de busca de explicações, de análise e generalizações. A Terceiridade permite estabelecer uma relação triádica entre o signo, o objeto e o interpretante. Em síntese, o processo de construção do conhecimento químico sobre o fenômeno da solubilidade se inicia com um quali-signo icônico com interpretante remático, aborda, na sequência, um sin-signo indicial com interpretante dicente, para, na dedução do modelo, trabalhar apenas com ligi-signos simbólicos, gerando argumentos como interpretantes (*vide* Quadro 2.5, p. 66).

A relação triádica em Peirce perpassa a classificação dos signos, pois algo que esteja na Secundidade engloba também a Primeiridade (o inverso não é verdadeiro), e a Terceiridade detém ambas. No caso da representação do conhecimento químico faz-se necessário ressaltar que o modelo teórico no nível molecular (submicroscópico) deverá ser construído ao longo do curso de Química, a partir de propriedades e conceitos que vão sendo aos poucos adicionados aos já existentes (sucessivas semioses). Em relação aos entes de caráter icônico, como a utilização de modelos moleculares concretos ou virtuais que apontem diretamente para os entes concretos do mundo sensível à percepção humana, deve ser enfatizado o caráter icônico de semelhança e analogia com as propriedades de moléculas e átomos e não um caráter indicial, para que os estudantes não pensem que os átomos têm cores ou que as ligações químicas são bastões (GOIS, 2007).

Para Peirce, significa que o signo é um dado de consciência conduzindo, pelo fato de existir como objeto de saber, a um mais, a uma aquisição, a um saber suplementar. E a significação é um processo dinâmico em movimento que Peirce chama de *semiose* ilimitada. Logo, o signo é uma coisa que representa uma outra coisa, seu objeto. Ele representa seu objeto para um intérprete, e produz na mente desse intérprete alguma outra coisa que está relacionada ao objeto, mas pela mediação do signo. O signo que entra numa verdadeira relação triádica de significação é chamado de *representamen*. É a face do signo imediatamente perceptível e faz parte da primeiridade. O objeto é uma forma de representação do referente. Faz parte da secundidade, da experiência existencial, é a o quê o interpretante envia o signo em um processo de semiose. O interpretante é o signo mediador do pensamento, um terceiro, que permite relacionar o signo apresentado ao objeto que ele representa (SOUZA, 2006).

Na concepção de Peirce, o pensamento é concebido como uma rede semiótica instituída junto à imanência de fenômenos experimentados por uma “inteligência científica”, ou seja, uma inteligência capaz de aprender através da experiência. Com efeito,

o direcionamento da semiose para a criação de inteligência não seria um propósito final de sua existência, não sendo uma necessidade, mas uma quase-necessidade apta a potencializar a criação de signos e interpretantes para a experiência. Silveira (2001) compreende que o signo é inseparável de todos os seus possíveis interpretantes, já que esta polarização tornaria a semiose uma forma fechada em sua própria recursividade diádica entre fundamento-objeto. Com efeito, a semiose seria elaborada em rede, como um sistema aberto a múltiplas conexões e interpenetrações de signo e interpretante, sendo uma espécie de processo cognitivo não recursivo e autorreferente, mas sim aberto a confrontos e interações com qualidades, diferenças e regularidades da experiência. Peirce concebe que, na semiótica, a experiência é pensamento em atividade. Nesse sentido, o crescimento dos signos passa pela gênese e constituição de interpretantes, que expressam o pensamento enquanto atividade cognitiva de um organismo capaz de desenvolver habilidades de generalização.

A argumentação de Peirce propõe que diferente de sentimento (Qualidade), ou sentido (Relação) de polaridade, a consciência de um processo (Mediação) é característica fundamental da cognição. Isso na medida em que, sob o registro da Terceiridade, a cognição é um tipo de consciência que demanda tempo na experiência, não podendo ser reduzida a um dado instante daquele tempo. Para Peirce, a cognição é um hábito no qual um organismo experimenta uma qualidade como primeiro (fundamento), uma reação a sua existência como segundo (objeto) e uma medição dessas em um evento no mundo como um terceiro (interpretante) sempre falível como significado em experimentação (FERRAZ, 2009).

Tentando aproximar a semiótica da sala de aula, pode-se conceber o professor como mediador do discurso, os estudantes como a comunidade discursiva e as representações semióticas como ferramentas de aprendizagem e, ainda, que, na sala de aula, há um intercâmbio de idéias entre professores e estudantes através da linguagem, a qual incorpora uma simbologia particular, criando assim um sistema geração de signos interpretantes. Esse sistema, linguístico e pictórico, é usado na construção de um discurso pedagógico vinculado a uma disciplina, que, no caso da linguagem química, depende de um conhecimento prévio, construído e convencionado. Desse modo, pode-se sintetizar a relação entre a tríade semiótica de Peirce na forma de uma tríade pedagógica que envolve o Perceber, o Relacionar e o Conceituar na relação entre signo, objeto e interpretante que pode ser estabelecido no processo de ensino e aprendizagem de conceitos da Química Orgânica.

2.3. A linguagem simbólica e a visualização científica na Química Orgânica

2.3.1. A importância da linguagem no Ensino de Química

Na perspectiva da linguagem, a Ciência é, basicamente, “*um discurso sobre a materialidade do mundo*” (LEMKE, 1997) se entendermos que o discurso é linguagem em uso (em ação) no seio de uma comunidade (VAN DIJK, 2003). Lemke (1997) destaca como cada linguagem se especializou no decorrer do tempo. A linguagem verbal tornando-se mais apropriada para descrições de eventos tipológicos, enquanto a linguagem pictórica é mais apropriada para descrições topológicas.

Lemke (1997) e Martins (1997) chegaram a conclusão que aprender ciências é, de certo modo, aprender a usar os seus códigos intrínsecos, bem como aprender a compreender e a se expressar na linguagem das Ciências Naturais. As práticas de leitura e interpretação das imagens, durante o processo de ensino de aulas de Química deverá, então, ser investigado a fundo, já que envolve o reconhecimento e a seleção de signos pelo professor que podem ser desconhecidos para os alunos, ou vistos e compreendidos em contexto diferente da sala de aula, nos quais lhes eram conferidos significados diversos daqueles que o professor espera, ou seja, diferentes daqueles convencionados pela Química. Desse modo, a construção de significados em uma aula Química se processa por meio das palavras que se dizem, dos diagramas que se desenharam, das fórmulas que se escrevem e dos experimentos que se realizam.

Nas Ciências Naturais, esse discurso (linguagem em ação) implica em representar a materialidade dos processos físicos que se dão na Natureza utilizando um sistema de signos a que se atribuem significados particulares, os quais conformam um sistema de conceitos, princípios e teorias que se integram, em modelos conceituais. Os modelos conceituais são representações externas, precisas e completas, coerentes com um conhecimento cientificamente aceito (GRECA; MOREIRA, 2002), que se utilizam para facilitar a compreensão ou o ensino. As representações e as entidades são requisitos fundamentais para que os estudantes possam elaborar explicações dos conceitos científicos. Para explicar um conceito é necessário que o estudante possa fazer uma representação do mesmo, pertença o conceito ao mundo real ou ao mundo formal; depois é necessário que possa utilizar as entidades para dar conta do significado que está elaborando acerca do mesmo conceito.

Na linguagem da Ciência Cognitiva, aprender sobre algo, chegar a compreendê-lo, é construir um modelo mental dele. Isso, obviamente, relaciona-se com aprender Química, pois as fórmulas e as equações químicas são mediadoras do conhecimento químico e o sucesso do ensino e, conseqüentemente, da aprendizagem dependem da

maneira como os professores abordam e relacionam essa linguagem a outros aspectos do conhecimento químico, articulando os aspectos macroscópicos, submicroscópicos e simbólicos entre si. Apesar dos fenômenos serem observáveis na natureza ou no laboratório (de forma direta ou indireta), podendo ser estudados em muitas de suas ocorrências, a Química, ou seja, o conhecimento científico existe como construções humanas e é conhecida por meio de suas representações. Isso significa que no processo de ensino da Química é necessário considerar o par fenômeno–representação para facilitar a aprendizagem, uma vez que, para possibilitar a compreensão dos fenômenos, é necessário fazer com que os estudantes operem com suas representações, ou seja, com os diferentes tipos de representações semióticas.

A Química é uma disciplina dominada pelo uso de modelos e símbolos. Os químicos, como outros cientistas, usam modelos para expor dados, prever eventos, explicar fenômenos e interpretar transformações químicas (GILBERT; BOULTER; RUTHERFORD, 1998). Roque e Silva (2008) verificaram que a linguagem escrita e falada dos compostos orgânicos só começou a ser organizada após o Congresso de Karlsruhe em 1860. Durante o Congresso, não houve consenso quanto a maneira de se representar os compostos orgânicos. No entanto, um trabalho levado por Cannizzaro, sem repercussão durante o evento, foi distribuído para vários participantes que, após o lerem, aceitaram seus argumentos. Cannizzaro trazia de volta a hipótese de Avogadro, mostrando que ela poderia ser útil na diferenciação entre os conceitos de átomo e de moléculas, além de uma defesa das massas atômicas do carbono como 12 (doze), do oxigênio como 16 (dezesesseis) e do hidrogênio como 1 (um), sugeridos por Laurent e Gerhardt e apoiados por Kekulé.

Por volta de 1850, a Química Orgânica tornava-se uma especialidade dentro da Química. A falta de homogeneidade das massas atômicas, a nomenclatura das fórmulas moleculares, além do grande número de isômeros obtidos para os compostos orgânicos, tornava a comunicação dos trabalhos na área bastante difícil, prejudicando seu desenvolvimento. Em 1860, era urgentemente necessário uniformizar a linguagem da Química Orgânica. Couper havia tido a idéia de representar as ligações por traços ou pontos e Kekulé, Loschmidt, Gerhardt e Kolbe, dentre outros químicos, haviam tentado estabelecer fórmulas gráficas que representassem os compostos orgânicos. Essas eram, no entanto, ou ambíguas ou muito complexas para serem usadas e, dessa forma, não tiveram aceitação ampla. Nessa época, o ácido acético, por exemplo, tinha dezenove diferentes representações, inclusive com diferentes números de átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio (GILBERT; BOULTER; RUTHERFORD, 1998).

A precisão da análise elementar, idealizada por Lavoisier e aperfeiçoada por Liebig e Dumas, a homogeneização das massas atômicas e da determinação das fórmulas moleculares trouxeram uma primeira coerência à linguagem e à representação dos compostos orgânicos. As estruturas moleculares começaram a ser representadas por letras caracterizando os átomos e traços representando as ligações. No caso das estruturas cíclicas, elas eram representadas por desenhos de poliedros, como a do benzeno, proposta por Kekulé, representado por um hexágono, mostrado na Figura 2.15.

Figura 2.15. Representação para a molécula de benzeno.

Para Roque e Silva (2008), o estudo de Química Orgânica é muito dificultado caso não haja a adequada compreensão do significado das várias representações (moleculares, estruturais, equações, mecanismos ou gráficos). Significados esses que nem sempre são apresentados aos alunos e problematizados em sala de aula, durante os cursos de Química Orgânica no Ensino Superior. Às vezes, os modelos são considerados assunto sabido; outras vezes, são simplesmente ignorados, prejudicando o aprendizado do aluno.

O fato das substâncias químicas serem concebidas como palavras na língua dos químicos, decalcada da linguagem natural, tem como consequência a decomposição destas unidades formais. Talvez aqui seja o ponto em que se depara com o problema da representação, pois a informação estrutural que se precisa comunicar é em grau considerável, inerentemente gráfica, em essência é uma forma a ser desenhada. O processo todo é uma representação, uma transformação simbólica da realidade. É ao mesmo tempo figurativo e linguístico ao mesmo tempo em que, carrega componentes conceituais e visuais (HOFFMANN, 2007).

Pode-se postular que com o surgimento de sistemas semióticos propiciou uma mudança qualitativa, uma volta crítica na evolução desta ciência. Afinal, um sistema que é capaz de interpretar o mundo natural graças à mediação de signos, evolui de forma determinada pelo fato de ser capaz de utilizar os signos para obter novas informações acerca do fenômeno, de tal maneira que esses signos rivalizam funções que favorecem sua vivência e/ou sua reprodução. Os processos semióticos no nível da ob-

servação de um fenômeno se descrevem como cadeias de tríades entre o sujeito, o objeto e o interpretante. Na Química, mais especificadamente, na questão da visualização de entes químicos, apresentam nos signos suas formas de linguagem principal, cujo objetivo é a produção de signos (*representamen*) científicos. Nesse caso, pode-se dizer que para a teoria semiótica, o processo de visualização é um processo de geração de signos interpretantes, ou seja, uma visualização científica é um processo de interpretação, e que o termo visualização transcende a idéia de signos visuais.

2.3.2. A visualização científica e as habilidades visuo-espaciais

A primeira definição de visualização científica surgiu em 1987 no relatório “*Visualization in Scientific Computing*”, como uma forma de comunicação que vai além das aplicações e dos limites tecnológicos. Também nessa época, o termo foi usado para sensibilizar a *National Science Foundation* para a importância do uso de métodos de computação gráfica associado às simulações com ferramentas computacionais (SEIXAS, 1997). A Visualização Científica é normalmente centralizada em representar adequadamente na forma de imagens dados brutos e, assim, fornecer meios de analisar visualmente conjuntos de dados, sendo fundamental para a identificação de relações e dependências existentes nos mesmos. As visualizações, por intermédio das representações visuais, fornecem apoio cognitivo através de vários mecanismos que exploraram as vantagens da percepção humana, assim como a rapidez do processamento visual. No entanto, a forma como os humanos percebem e reagem ao resultado da visualização, ou seja, às imagens geradas, influenciam fortemente sua compreensão sobre os dados (ALEXANDRE; TAVARES, 2007).

De maneira geral, o termo “*visualização*” significa construir uma imagem visual na mente humana, e isto é mais do que uma representação gráfica de dados ou conceitos. Assim, uma visualização pode funcionar como uma ferramenta cognitiva; tornando-se um artifício externo para a construção de conhecimento utilizando as capacidades perceptivas e cognitivas humanas. Ao organizar dados segundo critérios específicos, com o objetivo de visualizá-los, acaba-se por obter informações possibilitando a construção de novos conhecimentos sobre os mesmos. Assim, ferramentas computacionais de visualização e de análise, podem dar apoio aos seus utilizadores em todo o processo de análise dos dados envolvidos. Para o caso da visualização científica, os modelos gráficos são construídos com dados medidos ou simulados, associados a fenômenos de natureza física, que frequentemente carregam de forma intrínseca a componente do posicionamento espacial e/ou temporal que permite a representação de entes químicos ou de conceitos do mundo físico e simulações computacionais (DASTANI, 2002).

Em Química, a visualização tem sido utilizada para apresentar conceitos aos estudantes. O termo visualização em Química significa o uso de qualquer tipo de representação não verbal, como por exemplo, fórmulas químicas, diagramas, gráficos, símbolos químicos, representações estruturais, fotografias, imagens, modelos, simulações, animações, softwares interativos, com existência concreta ou virtual, em formato 1D, 2D ou 3D que permitem uma “interpretação científica”. Geralmente os termos recursos visuais, ferramentas visuais, representações visuais, por exemplo, são usados como sinônimos de visualizações. No nosso entender o termo que melhor se ajustaria à visualização seria modelagem ou imaginação, uma vez que o termo visualização refere-se a ver, o que não é o caso para os entes químicos, visto que eles são modelados e/ou imaginados.

Os livros didáticos e os professores usam uma variedade de representações visuais para introduzir conceitos químicos fundamentais (NOH; SCHARMANN, 1997). A Figura 2.16 mostra um exemplo da utilização de representações visuais para explicar o conceito de isomeria na Química. Para identificar isômeros geométricos, que têm a mesma fórmula química (C_4H_8), mas com diferentes propriedades e estruturas, os alunos são obrigados a traduzir uma fórmula química em sua estrutura molecular, visualizar (modelar) as possíveis configurações tridimensionais (3D) e comparar essas configurações.

Figura 2.16. Representação visual de isômeros geométricos; H representado em amarelo; C em preto (ACD/ChemSketch Freeware).

Por exemplo, a Figura 2.16 ilustra um diagrama parcial de duas moléculas de buteno em que os átomos e as ligações químicas são esquematizados para perceber como bolas e bastões. Ao mesmo tempo conceitos-chave também são representados como é o caso do número de ligações que um átomo de hidrogênio ou de carbono tem e a forma geométrica de uma molécula de buteno. Usando tais representações para executar tarefas se exige uma série de operações cognitivas de domínio espacial, como por exemplo, reconhecer convenções gráficas, manipular informações espaciais fornecidos por uma estrutura molecular e acompanhar mentalmente algumas restrições com base em conceitos químicos. Desse modo, é provável que a aprendizagem

de conceitos químicos envolva determinadas habilidades visuo-espaciais na execução de determinadas operações cognitivas (WU; SHAH, 2004).

Small e Morton (1983) e Pribyl e Bodner (1987) verificaram em suas pesquisas que os estudantes com altos valores de habilidade espacial tiveram melhor desempenho sobre questões de Química Orgânica. Observaram que alunos com maiores habilidades espaciais desenharam estruturas moleculares e diagramas mais adequados do que aqueles com valores menores de habilidades espaciais. Esses estudos também verificaram que, a habilidade espacial teve pouco impacto sobre as questões de memorização ou de simples procedimentos numéricos.

Dori e Barak (2001) relatam que estudantes do Ensino Médio do seu grupo experimental, onde foi usada uma mistura de vários tipos de representações, alcançaram uma melhor compreensão do conceito de '*modelo*' apresentando maior facilidade em definir e implementar novos conceitos adquiridos, tais como isomeria e grupo funcional. Wu, Krajcik e Soloway (2001) desenvolveram uma ferramenta de visualização o '*e-Chem*'®. Este programa permite aos estudantes construir modelos virtuais, observar simultaneamente múltiplas representações e avaliar a sua utilidade. Os autores verificaram que esta ferramenta de visualização em combinação com modelos concretos de bolas e varetas permitiu a estudantes do Ensino Médio desenvolver um melhor conhecimento visual e conceitual das representações químicas. Estes autores referem ainda que o '*e-Chem*' aumentou a habilidade dos alunos conseguirem transitar de representações 3D para 2D.

Moura, Cardoso e Lamounier (2009) demonstram, em seu estudo, a potencialidade da Realidade Virtual no ensino de Geometria Molecular, visto que tal tópico exige profundo discernimento dos alunos no domínio da visualização e manipulação espacial. Constataram que ambientes virtuais permitem aos alunos visualizar e manipular moléculas melhorando, desse modo, desenvolvendo as habilidades dos alunos e facilitando o aprendizado dos mesmos.

Outros estudos sobre o uso de ferramentas computacionais modernas (FERK; BLEJEC; GRIL, 2003/ WILLIAMSON; ABRAHAM, 1995) também verificaram serem esses recursos de visualização molecular facilitadores na superação de algumas dificuldades apresentadas pelos alunos na representação da espacialidade de estruturas químicas. Representações dinâmicas como simulações e animações tridimensionais provêm explicações visuais para fenômenos científicos que não são diretamente observáveis. Esses estudos enfatizam o valor das representações computadorizadas tri-

dimensionais no processo de aprendizagem em Química em relação às representações bidimensionais, como as que aparecem nos livros didáticos.

Em três estudos realizados por Urhahne, Nick e Schanze (2009), no qual procuravam avaliar a eficácia de simulações e animações tridimensionais para a aprendizagem em Química, chegaram à conclusão de que somente a habilidade viso-espacial tem fator preponderante no processo de elaboração conceitual. Essa habilidade pode ser julgada como uma capacidade específica que facilita a aprendizagem de conceitos químicos. Porém, sempre deve ser verificado até que ponto os estudantes podem usar essas habilidades viso-espaciais para resolver problemas de Química. Só deste modo, a compreensão de estruturas químicas e de suas propriedades podem ser melhoradas, pela construção de representações visuais adequadas.

Copolo e Hounshell (1995) compararam quatro métodos de representação molecular utilizados com estudantes de Química Orgânica na aprendizagem de estruturas e propriedades das substâncias: (Grupo-1), representações bidimensionais de livros didáticos; (Grupo-2), representações tridimensionais em computadores; (Grupo-3), representações tridimensionais com modelos físicos de varetas e bolas, e (Grupo-4), uma combinação de representações tridimensionais de computador e de modelos de bolas e varetas. Os resultados revelaram que houve uma retenção mais alta no Grupo 4, ou seja, no grupo que usava mais de um tipo de representação. Porém, quando eram aplicados testes que exigiam dos estudantes apenas representações bidimensionais, nenhuma diferença significativa foi identificada entre os quatro grupos.

Nelson e Williamson (1996) realizaram um estudo no qual utilizaram modelagem molecular (modelos físicos de bola-vareta e animações em computador) para desenvolver habilidades viso-espaciais na Química Orgânica. Concluem que esses modelos ajudam muito na explicação de tópicos complexos dentro Química Orgânica.

Há estudos na literatura que indicam que o uso de ferramentas de visualização proporciona aos estudantes mais sucesso ao resolver tarefas que envolvem rotação mental de representações 2D quando trabalhavam e manipulavam ferramentas visuais (vídeos, objetos moleculares, objetos virtuais, por exemplo) que apresentavam aspectos de viso-espaciais como rotações e translações (SEDDON; ENIAIYUJU, 1986/ SEDDON; SHUBBER, 1985/ TUCKEY; SELVARATNAM, 1993/ HABRAKEN, 2004/ WU; SHAH, 2004/ RAUPP; SERRANO; MOREIRA, 2009/ SILVA; RIBEIRO, 2008).

Há estudos que indicam que o uso de ferramentas de visualização diminui a carga cognitiva necessária ao processo de visualização mental e, desse modo, proporciona ao estudante realizar translações entre vários tipos de representações (BARNEA;

DORI, 2000/ BASTOS; MAZZARDO, 2004/ COSTA; COUTINHO; CHAVES, 2010/ DESTEFANO; LEFVRE, 2007/ MAYER, 1989; MAYER, 1997/ SWELLER, 2005/ SHAH; MIYAKE, 1999/ GYSELINCK; CORNOLDI, 2002). Por outro lado, há estudos como o de Thurstone (1950) e McFie (1973) *apud* (FERK; BLEJEC; GRIL, 2003), que afirmam, por exemplo, que tais habilidades tratar-se-iam de algo inato e não adquirido.

Pode-se concluir que há consenso nesses estudos de que o uso de ferramentas de visualização (virtuais, físicas) está diretamente relacionado com a aprendizagem de conceitos químicos e, de que, não há consenso, quanto a habilidade de visualizar no espaço ser passível ou não de aprendizagem.

A teoria da percepção dentro da Semiótica Peirceana poderia interpretar o caso da habilidade visuo-espacial ou da questão da carga cognitiva sobre conceitos que demandam altas habilidades visuo-espaciais com o uso de ferramentas de visualização como uma geração maior de interpretantes pois permitiria uma maior associação de qualidades sobre o objeto e, conseqüentemente, uma diminuição da carga cognitiva sobre o mesmo, facilitando o processo de compreensão conceitual. Desse modo, independente se há ou não o desenvolvimento de habilidades pode-se afirmar que o uso das ferramentas de visualização (físicas ou virtuais) contribui para perceber determinadas qualidades do “objeto” (objeto imediato na concepção da semiótica peirceana) e, desse modo, o grau de abstração das relações que podem ser estabelecidas permitirá uma variação de sua relação com o objeto (objeto dinâmico) contribuindo no processo de semiose gerando novos interpretantes, ou seja, de novas idéias sobre as formas relacionais e, conseqüentemente, geração de um novo signo. Desse modo, longe das controvérsias se as habilidades visuo-espaciais são passíveis de aprendizagem ou não, a teoria da percepção vai nos apontar que as ferramentas de visualização são necessárias pelo simples fato de contribuírem na geração de novos interpretantes sobre o objeto de estudo (consideradas como estratégias de comunicação) e, dessa forma, permitirem a formação de signos interpretantes.

Nesse modelo, é necessário destacar o caráter mediador do signo na elaboração de conceitos. O acesso aos entes químicos (objeto imediato) possui diferentes aspectos que só podem ser percebidos em partes, uma vez que não podem ser acessados em sua totalidade (objeto dinâmico). As diferentes estratégias de comunicação (signos) permitem o perceber, o relacionar entre o signo e o objeto e, conseqüentemente conceituar (interpretantes). A relação pode ser observada no modelo proposto na Figura 2.17.

Figura 2.17. Ferramentas de visualização e a semiose sobre os entes químicos.

Stieff e Rage (2010) e Stieff (2011), em seus estudos sobre o papel do raciocínio imagístico na resolução de problemas de Química Orgânica, concluem que os estudantes empregam, preferencialmente, o raciocínio imagístico para transladar entre várias representações moleculares. Porém, verificaram que, em tarefas mais complexas, em que é necessária a manipulação mental de imagens e a identificação de relações espaço-visuais, os estudantes usam quase que unicamente o raciocínio diagramático para resolver problemas (como, por exemplo, problemas referentes à estereoquímica, mecanismos de reações e vias sintéticas), evitando o uso de raciocínio imagístico. Os estudantes aplicavam uma série de algoritmos sobre os diagramas a fim de tornar a informação espacial explícita bem como para prever o resultado de translações espaciais, ou seja, faziam uso de diagramas para ilustrar características espaciais das estruturas sem invocar o uso de imagens mentais (raciocínio imagístico). Conclui que os estudantes, por apresentarem incapacidade de visualizar estruturas moleculares, buscam alternativas para resolver problemas que exigem reconhecimento visuo-espacial de objetos químicos.

Goodwin (2008) discute a relação entre as formulas estruturais e o processo de compreensão da Química Orgânica e mostra que o papel de fórmulas estruturais em Química Orgânica não está limitado apenas a nomes descritivos para as mais variadas espécies químicas. Essas fórmulas assumem, também, papel mais significativo, como dispositivos teóricos usados nas explicações e compreensão dessa temática. Fórmulas estruturais são usadas como modelos, e modelo, nesse caso, é um objeto usado para representar um fenômeno ou parte dele. Goodwin (2008) nos diz que, representando fórmulas estruturais por meio de modelos materiais, é possível explicar muitos

dos fenômenos químicos e físicos. Alguns fatos podem ser compreendidos por simples observação e manipulação desses modelos físicos (bastão/vareta). Certas características prontamente reconhecíveis do modelo são usadas para identificar propriedades das estruturas químicas descritas por ele. Nessa extrapolação, o estudante pode entender como o conteúdo descritivo de um modelo físico permite a reconstrução das informações pertinentes ao que se deseja compreender com relação ao objeto representado.

Um bom exemplo disso é a explicação da construção do “*Modelo de tensão angular de anéis de Adolf Baeyer*”. A explicação de Baeyer não é interessante somente por ser um dos primeiros exemplos em que uma fórmula estrutural foi usada como modelo para explicar as diferenças de energia, mas também, porque apresentou, para o conceito de tensão, um modelo material capaz de fornecer as evidências necessárias para a aceitação de sua teoria, percebidas por sua manipulação. Baeyer recorre a essas evidências para, em reações de ciclização de alcanos, explicar a prevalência de anéis de cinco e seis carbonos pela conseqüente diminuição da tensão entre as ligações. Quando, por meio da representação, uma característica foi determinada e usada para relacionar as diferenças de energia e, assim, permitir explicações de reatividade, isso foi admitido como uma indicação de que a característica pertinente da representação não era arbitrária, mas poderia ser usada para deduzir características da estrutura química.

Figura 2.18. Ângulo interno de polígonos simples aumentando com o aumento do número de carbonos.

Bowen (1990), em um curso de Síntese Orgânica, estudou os sistemas representacionais utilizados por pós-graduandos quando resolvem exercícios de síntese. Nesse trabalho, o autor pergunta sobre os processos de solução de dez estudantes, mediante entrevistas. Seu objetivo foi o de identificar as representações que eles constroem e como as utilizam. Conclui que sete sistemas representacionais foram acionados pelos participantes, a saber: verbal, pictográfico, metodológico, orientado por princípios, apoiado na literatura, guiado pelo laboratório e econômico. Os dois primeiros foram utilizados por 100% dos estudantes; o sistema metodológico, por 53,8%; princípios termodinâmicos, cinéticos e estereoquímicos foram evocados por 33,0% dos sujeitos, enquanto racionalizações com base na literatura (5,4%), em ações de laboratório

(6,8%) ou em aspectos econômicos (1,0%) foram minoritárias. Bowen (1990) constatou que os estudantes utilizam a representação pictográfica 2D e evitam a 3D; não utilizaram um conjunto de modelos materiais (3D) fornecido durante a entrevista. O modelo 2D pareceu-lhes mais adequado e cômodo. Recomenda que o ensino de síntese deveria basear-se nesses sete sistemas, iniciando-se o processo pela aprendizagem da representação pictográfica e dos conceitos e relações implicados nessas representações, sendo, depois, promovido o ensino dos outros sistemas e das relações entre eles.

Rusay (2005), ao pesquisar dificuldades de aprendizagem em Química Orgânica, propõe a seus alunos da graduação que realizem uma atividade com o objetivo de identificar a característica mais forte deles (auditivos, táteis ou visuais), especificamente para a orientação de estudo em Química Orgânica. Conclui que a disciplina de Química Orgânica envolve muitos conceitos abstratos que requerem representações de possíveis estruturas de moléculas que não podem ser vistas, mas cujas características moleculares e arranjos atômicos podem ser inferidos a partir de dados experimentais.

A partir desses estudos pode-se concluir que a linguagem visual é de fundamental importância na elaboração conceitual em Química e que, tal como a linguagem verbal, seu papel não é meramente o de comunicar idéias, mas também aquele de construir novos conhecimentos. Assim, as fórmulas moleculares, os gráficos, as equações químicas e os modelos geométricos, por exemplo, deveriam ser compreendidos como substitutos racionais das substâncias, em determinado contexto. A linguagem da Química descreve, através de modelos (fórmulas estruturais, equações, gráficos e figuras), as coisas do mundo como as compreendem os químicos. Para estudar e entender a Química, é necessário, em primeiro lugar, aprender essa linguagem. Essa linguagem também capacita o indivíduo a explicar e compreender o mundo através da química. Roque e Silva (2008) em sua pesquisa concluem que é evidente a impossibilidade de se estudar Química Orgânica sem compreender o significado das várias representações moleculares, entendendo-se, nessa acepção, que a representação é estabelecida como um ente racional sobre o mundo do real, ou seja, as substâncias possuem um substituto racional (BACHELARD, 1975).

Hoje em dia, compreende-se a aprendizagem como um processo que depende de múltiplos fatores, dentre os quais se encontram as diversas interações que os estudantes têm com seus professores e seus colegas. As ferramentas que viabilizam essas múltiplas interações constituem o sistema de representações, da escrita e da linguagem. Ao se valorizar equitativamente as diferentes linguagens às quais se pode

recorrer para a construção e negociação de significados, o texto deve passar a ser entendido em sua constituição multimodal e as diferentes linguagens (ou códigos semióticos) que o constituem devem ser utilizadas para potencializar o Ensino de Ciências. Dentre as diferentes linguagens, é a linguagem visual que apresenta papel destacado na multimodalidade.

Para Kress e van Leewen (1996), a análise da linguagem visual deve levar em consideração três aspectos concomitantes de significação: a representação experiencial, que considera a experiência humana retratada e o contexto de uso da mesma; a representação relacional, que se ocupa das relações interpessoais estabelecidas entre os participantes representados, e destes com o leitor; e a representação composicional, que diz respeito aos significados que podem ser atribuídos às escolhas feitas pelo autor para compor o texto.

De um modo geral, é possível perceber que a visualização científica surge como o termo que nomeia a reunião de processos de computação gráfica, refletindo o momento de incremento do ambiente digital para, em seguida, retomar o sentido original, acrescido dessas novas possibilidades tecnológicas de produção de representações, signos ou de um universo maior de linguagem e informação científica. A visualização científica é legitimamente um sistema semiótico, pois se trata de um ambiente de produção de linguagem e de representações. Consequentemente, pode ser entendida pela análise da Semiótica Peirceana. Pode-se pensar a visualização científica no sentido de aprimorá-la como ferramenta estratégica de prospecção de novas informações, de estabelecimento de relações mais precisas entre o objeto e sua representação em signos, pois é desse modo que se modifica o conhecimento científico (MEDEIROS, 2009).

Em relação ao fato de que o uso de ferramentas de visualização permite ou não o desenvolvimento de habilidades visuo-espaciais em estudantes, pode-se afirmar que o uso de ferramentas de visualização proporciona uma melhor aprendizagem sobre os fenômenos, independente ou não de aumentar ou desenvolver habilidades visuo-espaciais dos estudantes.

Escolheu-se a perspectiva da Semiótica Peirceana para analisar o emprego de ferramentas de visualização (que seria mais adequado chamar de ferramentas de modelização) no ensino de Química, por concordar que tais ferramentas permitem a geração de novos interpretantes sobre o objeto e, desse modo, proporcionam uma melhor compreensão sobre os aspectos relacionais da representação. É possível relacionar a questão dos processos de visualização científica (modelização) com o processo de ge-

ração de signos interpretantes dinâmicos na perspectiva da teoria semiótica peirceana, visto que se inserem em um fluxo de tradução de informação em significados.

2.3.3. A teoria da Percepção e a visualização molecular na Química Orgânica

Átomos e moléculas têm estruturas que, no entanto, não podem ser percebidas através dos sentidos. Nesse caso, pode-se perguntar: “*como estudar o imperceptível?*” A correlação entre o comportamento dessas minúsculas partículas, que fazem parte do microcosmo, e as propriedades das substâncias pertencentes ao sistema macroscópico foi e continua sendo um grande desafio da Química e, conseqüentemente, de seu ensino. Como vencê-lo?

A representação para a fórmula química para água, H_2O , carrega a identidade dos elementos constituintes e a relação entre eles, mas não indica explicitamente o ângulo da ligação ou se as ligações são simples ou duplas. Por outro lado, o modelo bola/vareta (Figura 2.19.a) indica o ângulo de ligação e a ordem da ligação explicitamente, mas não enfatiza o espaço da eletrosfera da molécula, que é explicitado em 2.19.b, onde a coloração se refere às densidades eletrônicas locais, calculadas a partir das equações de onda, por métodos computacionais semi-empíricos como o *Gaussian*®. Portanto, há uma explicitação do caráter dipolar da molécula de água. A tradução das representações e o trânsito entre elas é uma tarefa de processamento de informação, requerendo a percepção e compreensão do conceito subjacente à representação. A profundidade com que o indivíduo percebe e interpreta as informações provenientes das representações (Figura 19), por exemplo, depende de sua compreensão dos aspectos do fenômeno que conduzem a essas representações iniciais, e implica na percepção dos detalhes que se expressam na construção da representação.

As esferas claras representam átomos de H, a acinzentada, o de O e, a elipse vermelha, o domínio ocupado pelo par de elétrons não-ligantes. Essas representações mimetizam modelos físicos.

Figura 2.19. Representações em 3D para a molécula de água.

Para Hoffmann (2007), “*o que os químicos fazem*” é essencialmente modelar e representar as possíveis estruturas e funções da matéria com o objetivo de explicar suas propriedades e transformações. Torna-se fundamental oferecer, aos estudantes de Química, oportunidades para que desenvolvam a compreensão sobre como modelar e sobre como isso contribui para o desenvolvimento do conhecimento químico. E, finalmente, é importante que os estudantes entendam que uma dada realidade pode ser modelada por diferentes modos de representação. Além disso, eles devem desenvolver habilidades para transitar entre diferentes modos de representação e compreender as vantagens e limitações de cada um em diferentes contextos.

Para Mackinlay (1988) a escolha da representação adequada para um determinado conjunto de dados, deve ser baseada em critérios de expressividade (*expressiveness*) e eficácia (*effectiveness*). O critério de expressividade diz respeito às representações gráficas que traduzem a informação com interesse para o utilizador. O critério de eficácia está relacionado com a facilidade de compreender as representações e as informações que elas expressam.

Toda observação experimental envolve certa dificuldade que ser caracterizada pela escolha de dados que são de fato relevantes no fenômeno em questão e, quais são mais adequados no processo de construção de modelos explicativos. Geralmente, os primeiros significados são constituídos através dos predicados (características relacionadas à forma, cor, tamanho, estrutura, por exemplo) atribuídos aos objetos e as próprias ações materiais executadas sobre eles. Esses predicados são subjetivos e atendem a uma necessidade inicialmente figural. As características figurativas dessas primeiras construções não possibilitam a diferenciação objetiva de elementos essenciais num fenômeno, pois elas constituem um todo indiferenciado, globalizado pela ausência de comparações métricas, ausência de retroações e antecipações das ações, por exemplo. Essa figuratividade, no entanto, se constitui no primeiro dado que será transformado pelos mecanismos cognitivos num segundo momento. A falta de compreensão das relações entre os significados e do desconhecimento do modo como se constituem as “*deformações*” cognitivas operadas pelos mecanismos perceptivos, que nos fazem refletir sobre as relações entre a constituição do conhecimento orientada pelos mecanismos da razão e a constituição dos significados a partir dos estados perceptivos, ou seja, através da percepção.

A percepção é, para Peirce, o objeto de estudo da semiótica que ocorre dialeticamente segundo um modelo triádico constituído de: *percepto*, *percipuum* e julgamento perceptivo. Peirce (2005) considera os constituintes da percepção como entes interdependentes e indecomponíveis que permitem que se analise e caracterize isoladamente

cada um deles. A Figura 2.20 procura mostrar a relação entre os constituintes peirceanos da percepção.

Figura 2.20. Constituintes peirceanos da percepção (adaptado de MUCELIN; BELLINI, 2008, p.124).

Para Mucelin e Bellini (2008) na proposta triádica de Peirce, os constituintes da percepção são entes interdependentes e indecomponíveis que permitem que se analise e caracterize isoladamente cada um deles. Assim, em toda percepção existem os elementos: *percepto* ou objeto (verdadeira coisa em si mesma) que independe daquilo que dele se possa pensar, devido à sua existência e insistência sobre os sentidos sem nada manifestar; o *percipuum* ou o modo como o *percepto*, captado pelos órgãos sensoriais, é imediatamente interpretado no julgamento de percepção; e o julgamento de percepção, que corresponde a uma espécie de proposição a nos informar sobre aquilo que está sendo percebido. De acordo com Santaella (2012), ao interpretar a teoria peirceana da percepção dentro da moldura lógica da semiose, o percepto funciona semioticamente como o objeto dinâmico e, que, portanto, dentro do signo deve haver um objeto imediato, que funcione como mediação entre o percepto (que está fora) e o signo (que está dentro), e que no caso só pode ser o julgamento da percepção. O *percipuum* seria na teoria peirceana seria o elemento que funcionaria com o objeto imediato. Como diz Santaella (2012):

A percepção é determinada pelo percepto, mas este só pode ser conhecido através da mediação do signo, que é o julgamento da percepção. Para que esse conhecimento se dê, o percepto deve, de algum modo, estar representado no signo. Aquilo que representa o percepto, dentro do julgamento perceptivo, é o *percipuum*, meio mental de ligação entre o que está fora e o juízo perceptivo, que já é fruto de uma elaboração mental (SANTAELLA, 2012, p. 95).

Em síntese, Santella (2012) coloca que perceber é se dar conta de algo externo a nós, o percepto. O que caracteriza o ato de perceber é o senso de externalidade de que o percepto vem acompanhado. Perceber é se defrontar com algo e que diante de qualquer coisa que se apresenta os esquemas mentais já estão preparados para produzir um efeito interpretativo que, para a mente, é um primeiro. Esses são os julgamentos de percepção ou signos. Nada se pode dizer sobre aquilo que aparece, senão pela mediação juízo perceptivo, isto é, uma interpretação.

Jorge (2011) coloca que a percepção envolve captar e participar das qualidades objetivas de algum fenômeno misturadas aos elementos da memória, do raciocínio realizado, da emoção sentida, e que essas qualidades objetivas dos sentidos como filtros da alma também se misturam aos elementos subjetivos de cada indivíduo. Para essa autora, de acordo com a teoria peirceana, a percepção é a porta de entrada das formas e das qualidades do mundo, informação recebida e processada por um organismo. Para Jorge (2011) perceber é um ato espontâneo e anterior à realidade consciente ou a qualquer significação, que posteriormente poderá ou não ser gerada. A percepção proporciona a coleta de dados sobre o que é fisicamente sentido, porém tais dados podem variar de acordo com as condições de fundo pessoal e a forma percebida passa a transcender o objeto simplesmente sentido.

As diferenças na percepção das propriedades de objetos percebidos por diferentes culturas se distinguem a partir dos diferentes níveis de aprendizagem e de experiências passadas com esses objetos. Jorge (2011) afirma que os diferentes sistemas culturais interferem no modo como os objetos são percebidos, ou seja, quando o observador tem no repertório de informações e mesmo reflexão sobre esses significados culturais, então a sua percepção e leitura da obra serão modificadas e, certamente os sentidos, ampliados e enriquecidos. Portanto, pode-se concluir que os indivíduos terão concepções do real para perceber e compreender o significado dos signos de maneira diferente. Pois o objeto a ser examinado é resultado da interação de signos comuns com um referente percebido subjetivamente por cada interpretador.

Somos, primeiramente, seres decifradores de signos, para moldarmos nossa percepção e, por última consequência, nossas atitudes.

(...) em termos peirceanos, é preciso levar em conta que o efeito que a mente produz não precisa ser necessariamente racional. Pode ser da ordem de uma reação puramente física, ou então, pode ser um mero sentimento com toda a evanescência que é própria de um sentimento (...) (SANTAELLA, 1998, p. 48).

Na visão peirceana de percepção existe a criação de uma teoria triádica e sob dominância da secundidade, ou a segunda categoria fenomenológica, que diz respeito à reação e interação do indivíduo com seu signo. Por isso, para Peirce, a percepção está em constante interação com a ação e com a memória. Peirce conseguiu ir além da evidência dualista de percepção. Primeiro, porque ele não concebia a separação entre percepção e conhecimento, pois acreditava que toda cognição começava na percepção e terminava na ação deliberada. Segundo, porque tanto a cognição como a percepção seriam inseparáveis das linguagens através das quais o homem pensa, age e se comunica. Ou seja, a partir destas afirmações, entende-se que a teoria peirceana da percepção possui total respaldo na sua teoria geral dos signos e vice-versa, explicando logicamente os fundamentos das significações humanas por uma inteligência científica (SANTAELLA, 2005).

Entender a semiótica como uma ciência que nos ensina a “ver” por intermédio da exploração de todos os nossos sentidos, usando-os como “antenas” de captação de mensagens verbais e não verbais; visíveis e invisíveis na estrutura dos diagramas, figuras, imagens, por exemplo, com que se interage, torna-se caminho metodológico facilitador do entendimento da interação sógnica. Em disciplinas como a Matemática, a Química e a Física, por exemplo, a estruturação sógnica é discutida com auxílio da lógica. Contudo, a composição verbal é provocada pela lógica do pensamento, mas se manifesta por meio da lógica linguística, que requer todo um instrumental específico e complexo, uma vez que opera fundamentalmente com signos-símbolos: entidades abstratas, convencionais e mutáveis, do ponto de vista significativo (SIMÕES, 2008).

A experiência é o elemento central da formação do conhecimento na teoria peirceana. Experiência que se torna algo experienciável pelo homem na medida em que ele observa um objeto (*percepto*). O objeto na relação com o ser passa a ser experienciado. Assim, a idéia (o significado) se constitui no processo experimental. Nesse caso, de acordo com Manechine (2006) a percepção entendida na primeiridade, como o conhecer do fenômeno em condições de qualidades, têm o sentido de percebê-lo, admirá-lo. No defronto com o real, o aluno estabelece relações sobre o observado produzindo signos de secundidade. Nesse compreender, novas relações vão se estruturando, amplia-se ao máximo esse conhecer sobre o contexto analisado, definindo-o não em conhecimento pronto e acabado, mas como conhecimento experienciável, cujo significado permanece num *continuum*. Ibri (1992) lembra que não existe uma forma específica de experimentação filosófica a partir da qual a experiência possa ser interpretada, ou seja, a interpretação já é uma experiência, e ela, a experiência, é o próprio curso da vida. Para Peirce, o processo de semiose ocorre a partir da experiência vi-

venciada pela inter-relação das categorias de primeiridade e secundidade. A mente do intérprete engendra aquilo que é percebido, experiencialmente, em um processo contínuo e dinâmico (semiose ilimitada) que Peirce denominou representação da coisa ou mediação.

Santaella (1998) nos coloca que não há separação entre percepção e conhecimento. E a percepção envolve elementos inconscientes e não cognitivos. Não controla-se a maior parte de nosso processo perceptivo, como mostra a psicanálise, sincronicamente contemporânea da semiótica de Peirce. Em sua semiótica, nem empirista nem racionalista:

A primazia lógica é do signo, mas a primazia real é do objeto. O objeto é determinante, mas só nos aparece pela mediação do signo. Somos seres mentais, o signo é um primeiro porque aquilo que a mente produz vem imediatamente na frente. Essa é a idéia de mediação. Mas, para compreendê-la em termos peirceanos, é preciso levar em conta que o efeito que a mente produz não precisa ser necessariamente racional (...) Porém, aquilo que está representado no signo não corresponde ao todo do objeto, mas apenas a uma parte ou aspecto dele. O signo é sempre incompleto em relação ao objeto (SANTAELLA, 1998, p. 44 e 45).

Percebe-se mediante um signo dependente de um objeto, e de acordo com o que se está equipado a perceber. Tem-se um ritmo de pensamento e utiliza-se o próprio ritmo como referenciais para todos os processos de pensamento. Também, por isso, tem dificuldade em reconhecer processos semelhantes ao nosso em outras classes de seres. Para Peirce, o pensamento é uma característica do universo, e não apenas dos seres humanos. Todo conhecimento é, segundo Peirce, inferencial, mediato, articulado no tempo e processual. Todo processo de conhecimento faz-se mediante signos e no decorrer da experiência (SILVEIRA, 2001).

No caso das inferências, Peirce considerou três formas de inferências que poderiam ser classificadas mediante as categorias de ampliação e de explicação: abdução, indução e dedução. Todos os três se baseiam na idéia de uma hipótese: a abdução inventa ou propõe hipóteses, a dedução explica-as e a indução testa as hipóteses (BURKS, 1946). No início de sua obra Peirce considerava as três formas de inferências independentes, mas que ao reformular sua obra, passa a considerá-los intimamente ligados, como três estágios de investigação. A abdução fornece ou propõe as hipóteses; a dedução explica-as e delas deduz as consequências necessárias, as quais são então testadas e verificadas através da indução (FANN, 1970).

Peirce considera a abdução como um processo de formação de hipóteses explanatórias. Para Peirce (2005) abdução seria a única operação lógica que apresenta idéias novas, pois a indução nada faz além de determinar um valor, e a dedução meramente desenvolve as consequências necessárias de uma hipótese “pura”, em resumo, para Peirce todas as idéias da Ciência surgem através de abdução.

A percepção localiza-se no domínio da primeiridade, como representante da potencialidade de tudo que é possível de ser realizado e, levando-se em consideração sua importância, pois, segundo Peirce, é por ela que se inicia o processo de abdução (elaboração de hipóteses), responsável pela construção das crenças que moldam os hábitos e que, por sua vez, estão intrinsecamente ligados aos nossos usos, caracterizando a forma de utilização do ambiente. A abdução é a primeira etapa da teoria peirceana da investigação; ela “nasce da observação de um ‘fato surpreendente’, aquele que contraria uma expectativa e que, por isso, pede uma explicação. A abdução, portanto, está vinculada com uma realidade que tentamos compreender” (SCHETTINI, 2002).

Peirce propõe a abdução para fazer a ligação entre realidade e experiência. A primeira afirma ser algo que pode ser descoberto e do qual se pode obter conhecimento na descoberta. A melhor maneira de entender a inferência abdutiva pode ser compará-la com a dedução e com a indução em relação aos seus diferentes papéis nos processos de descoberta científica (DENTZ, 2010). Peirce identifica a abdução com o adivinhar, considerando-a como um “*poder instintivo*” e como um processo que opera sobre a base de outra informação. Partindo do princípio de que para Peirce “a inferência abdutiva vai se desfigurando no juízo perceptivo sem uma linha de demarcação clara entre eles”, pode-se também afirmar que cada abdução diante de “fatos surpreendentes” não é nada mais do que a busca de um modo de percepção desses juízos (DENTZ, 2010).

Segundo Peirce (2005) a indução abdutiva é a base da sua Teoria da Percepção. Para ele sem a abdução não se pode deduzir e nem induzir. Por isso o método abdutivo é primeiro; o dedutivo é segundo e o indutivo é terceiro. Induzir é generalizar, tornar gênero o que é particular. Porém, para que se possa generalizar, antes é preciso abduzir, pois sem a abdução não se tem como saber se o caminho é a dedução ou a indução na produção do conhecimento.

Um dos méritos da distinção entre os tipos de raciocínio está no fato de que algumas ciências apresentam o predomínio de alguma dessas inferências. Por exemplo, no caso da Química, o raciocínio seria essencialmente indutivo, pois como ciência

construída ou em construção, ela é sensivelmente experimentada. Por exemplo, no caso da mudança do significado de “átomo”, de Demócrito a Newton, John Dalton, Ernst Mach, Ernest Rutherford, Niels Bohr, Werner Heisenberg e Erwin Schrödinger, de uma esfera indivisível e impenetrável a uma combinação de ondas sem substância. Em cada passo histórico, “átomo”, como um símbolo, transformou seu significado em algo arbitrariamente (modelarmente) distinto. Em cada passo, novas convenções científicas foram estabelecidas, indicando o surgimento de novas “realidades semióticas” (QUEIROZ, 2008).

Nesse caso, a interpretação científica pode funcionar como uma ferramenta cognitiva; tornando-se um artifício externo para a construção de conhecimento utilizando as capacidades perceptivas e cognitivas dos estudantes. Como afirma Jorge (2011) a função da percepção é ser a atividade que soma e junta partes numa síntese, compondo o objeto percebido. Por exemplo, a estrutura física da representação de uma molécula com bolas e varas (Figura 2.21) visto por alguém seria, para um empirista, um feixe de qualidades isoladas que tem a função de enviar estímulos aos órgãos dos sentidos. Para um intelectualista, o objeto molecular seria um objeto percebido como uma idéia.

Figura 2.21. Representação de uma molécula com bolas e varas (ChemSketch Freeware).

Para Jorge (2011) de acordo com as teorias racionalistas intelectualistas, a percepção não pode ser considerada muito confiável para o conhecimento porque depende de condições específicas de quem percebe e está propenso a criar ilusões, pois no caso da Química, a imagem, o modelo ou a estrutura percebida não corresponde à realidade da estrutura da molécula. Desse modo, na formulação do pensamento científico devem-se abandonar os dados da percepção e formular idéias relacionadas com aquilo que foi percebido numa tentativa de explicar e corrigir a percepção. A teoria fenomenológica vai afirmar que não é possível perceber de uma só vez o objeto, pois apenas alguns fragmentos do objeto são percebidos de cada vez.

Em nosso estudo, em particular para o caso da teoria da Percepção e de sua relação com a visualização molecular em Química Orgânica, dar-se-á uma maior atenção para a Semiótica Peirceana que sendo fundada na fenomenologia e, acima de tudo, ser uma teoria sógnica do conhecimento enraizada na percepção, pode levar a uma nova percepção sobre o Ensino de Química a partir do advento das tecnologias de informação e comunicação e de suas potencialidades em processos de ensino e aprendizagem.

As potencialidades do uso de ferramentas de modelização para o ensino de Química podem ser vistas a partir da variedade de usos possíveis como pode ser visto no Quadro 2.6.

- i) Ferramentas para aquisição e manipulação de dados.
- ii) Multimídia que apresenta as informações de forma estruturada e geralmente gráfica.
- iii) Micromundos e simulações: os primeiros consistem em programas muito completos que programam a simulação de uma vasta gama de processos e leis, enquanto as últimas são programas menores, com modelos de um sistema ou processo voltado para a sua visualização.
- iv) Ferramentas de modelização: programas que permitem que o usuário construa a sua própria simulação.

Quadro 2.6- Tipos de ferramentas de modelização.

Alguns softwares de visualização (modelização) utilizados durante o processo de ensino de Química Orgânica e que se encontram disponíveis na rede (livres) são apresentados a seguir:

- i) MDL Chime®: esse plugin permite a visualização 2D e 3D diretamente numa página Web. Permite ainda rotação, alteração e guardar a estrutura em vários formatos;
- ii) ChemDraw® ActiveX/Plugin Viewer 10.0: plugin que permite a visualização e manipulação de estruturas e modelos moleculares online;
- iii) gOpenMol® é uma ferramenta para a visualização e análise de estruturas moleculares e de suas propriedades químicas;
- iv) Molekel® é um programa que permite visualizar dados moleculares e de estruturas eletrônicas;
- v) Molden® é um programa que tal como o anterior permite a visualização dos resultados obtidos com programas de cálculo de estrutura eletrônica;

- vi) Visual Molecular Dynamics® (VMD) é um programa de visualização molecular para a visualização, animação e análise de biomoléculas;
- vii) Rasmol® é um dos mais famosos programas para visualização de modelos moleculares 3D. O programa é compatível com a grande maioria de tipos de ficheiros de representação molecular tridimensional;
- viii) Jmol® é um programa de visualização de modelos moleculares que para além de suportar os formatos de modelos tradicionais permite visualizar o resultado de estruturas obtidas por programas como o *Gaussian®* ou o *GAMESS®*. Também permite determinar grandezas estáticas como o ângulo ou comprimento de ligações, além de ser possível animar estruturas com base em resultados de cálculos de modos vibracionais e otimização de geometria;
- ix) MOPAC® “Molecular Orbital PACkage” determina estruturas eletrônicas de moléculas com elementos essencialmente do bloco p, usando métodos semi-empíricos como o PM3 (Parametric Model 3), MNDO (Modified Neglect of Differential Overlap) e o AM1 (Austin Model 1);
- x) GAMESS® “General Atomic and Molecular Electronic Structure System”, é o único programa compatível com ambiente Windows gratuitamente distribuído capaz de realizar cálculos *ab initio* “hardcore”. É baseado no DOS e só pode trabalhar a partir da linha de comandos. Pode calcular, para além de níveis de energia por TEV (GVB) e TOM (Hartree-Fock), modos vibracionais e estados de transição.

Pode-se concluir que o processo de visualização molecular, ou melhor, o processo de modelização no Ensino de Química Orgânica é, acima de tudo, um sistema semiótico, visto que envolve diferentes formas de linguagens, ocorre por meio de produções de linguagem, de representações e que, dessa forma, a perspectiva psicológica é substituída pela perspectiva semântica, ou seja, no lugar da relação sujeito-objeto surge a relação entre linguagem e mundo e, que, de acordo com a Teoria Semiótica de Peirce representação é mediação. Portanto, a estimulação da percepção é fundamental no processo de ensino e aprendizagem dessa ciência, já que de acordo com a semiótica a percepção é a porta de entrada das formas e das qualidades do mundo. A semiótica poderá proporcionar novas perspectivas para o entendimento de diversos fenômenos de mediação, processos de significação, representação e interpretação. Portanto, na observação de todo e qualquer fenômeno de linguagem que ocorre em sala de aula, há a possibilidade de ser interpretado à luz da semiótica de Peirce.

2.4. Aspectos da construção da representação no ensino de Química na perspectiva da Semiótica Peirceana

A principal questão teórica que norteou o referencial teórico foi a tentativa de encontrar inter-relações teóricas e aplicadas entre construção do conhecimento em Química, as formas de representação desse conhecimento e a Semiótica Peirceana. Isso abriu espaço às conexões teóricas que, obviamente, justificam a importância de um olhar sob os processos de ensino e aprendizagem de Química Orgânica a partir da Semiótica Peirceana.

Nesse capítulo procurou-se sustentar que a Semiótica Peirceana pode contribuir para a compreensão sobre os processos de organização e construção do conhecimento científico, sugerindo explicações plausíveis e consistentes sobre o uso da linguagem no processo de elaboração conceitual em Química. A Semiótica Peirceana no que diz respeito à representação ou níveis de representação do conhecimento químico conduz a uma teorização adequada a respeito das preocupações existentes nas pesquisas que abordam a questão da representação do conhecimento químico, entre elas: a) as reflexões epistemológicas e ontológicas sobre a realidade dos entes químicos; b) a construção de modelos de mundo, instrumentos e produtos que operacionalizam a organização do conhecimento; c) o acesso aos entes químicos (átomos, moléculas, íons, por exemplo) que são sempre processos mediados e, nesse sentido, limitados pelo relativismo imposto por sua própria natureza; d) as evidências, viabilizadas por instrumentos ou não, atuam como signos que evidenciam aspectos específicos e restritos dos objetos a que se referem.

Considerando que durante as aulas de Química Orgânica, nas situações de ensino e de aprendizagem, o conhecimento químico e sua forma de produção assumem o papel de objeto e que o conteúdo, a forma e as ferramentas utilizadas consistem em estratégias de comunicação, ou seja, signos (Perceber) as relações signo-objeto (Relacionar) assumem relevância na relação triádica entre signo, objeto e interpretante (Conceituar) que em situação de sala de aula será denominada de tríade pedagógica (Perceber – Relacionar e Conceituar).

A relação entre o signo e o objeto no processo perceptivo, que ocorre no processo comunicativo pode influenciar a idéia de realidade dos estudantes. O modelo proposto, com base na Semiótica Peirceana, permite distinguir ontologicamente a realidade (objeto dinâmico), parcialmente acessível pelas percepções e relações que se estabelece com o objeto imediato (qualidades que se pode perceber) a partir dos fenômenos e evidências (real dado) e os conceitos elaborados (interpretantes) que pressupõem

uma realidade produzida, construída que pode ser coerente com o conhecimento cientificamente aceito ou até mesmo as concepções alternativas que são construídas pelos estudantes, que são fundamentais na realização de novas semioses e geração de novos interpretantes, com diferentes percepções, relações e conceituações.

CAPITULO 03

ASPECTOS METODOLÓGICOS

3.1	<u>Enfoques metodológicos</u>	100
3.2	Metodologia de pesquisa	102
3.2.1	Coleta de dados com o grupo de professores da disciplina de Química dos Compostos Orgânicos I e Química dos Compostos Orgânicos II	104
3.2.2	Coleta de dados com o grupo de estudantes das disciplinas de Química dos Compostos Orgânicos I e Química dos Compostos Orgânicos II	108

3.1. Enfoques metodológicos

A presente pesquisa relaciona-se com os processos de ensino e de aprendizagem na disciplina de Química Orgânica a partir dos modos e convenções de representação que são utilizados nessa disciplina. A Química apresenta uma linguagem própria, que carrega consigo características de uma cultura científica particular (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 1999) e expressa uma forma idiossincrática de ver e interpretar o mundo, que é construída e validada socialmente. Desse modo, para aprender Química é necessário apropriar-se dessa linguagem no que se refere, tanto a seu vocabulário, como a seu processo de pensamento.

A linguagem química é caracterizada por empregar uma variedade de representações simbólicas (fórmulas, estruturas moleculares, diagramas, modelos atômicos, mecanismos de reações, por exemplo), cuja significação está relacionada ao conhecimento de uma cultura determinada. Nesse caso, a representação acaba sendo o conjunto das formas de linguagem que permitem representar simbolicamente o conceito (conceitos entendidos como instrumentos para o pensamento, lentes para o olhar) por meio de suas propriedades, de seu comportamento e de suas características. No caso particular da Química Orgânica, o uso da linguagem e das representações revela como o conhecimento sobre os entes químicos está sendo construído. Portanto, a diversidade de usos da linguagem e das representações nos remete às referências que investigam os signos e a construção de significados, ou seja, nos remetem à semiótica e, mais particularmente, à Semiótica Peirceana.

Essa abordagem semiótica permite a análise dos fenômenos e de seus significados através dos signos. A semiótica, a teoria dos signos, propõe uma relação que pode ser abstraída em correlatos - termos da relação. No âmbito da semiótica, o signo é um padrão percebido que articula itens, qualidades, acontecimentos, processos e, em um sentido amplo, é uma relação entre três elementos (signo, objeto e interpretante), portanto, *triádica*.

A semiótica estuda o mundo das representações e da linguagem. Desse modo, permite explicar como as pessoas se situam no mundo em sua volta: primeiro, os objetos vêm à mente como qualidades potenciais; em segunda instância, procuram-se relações de identificação e, em terceiro lugar, a mente atribui o significado. Por isso, a semiótica se baseia numa tríade de classificações e inferências, ao demonstrar que existem os objetos no mundo, suas representações em forma de signos e a interpretação mental desses objetos.

Entretanto, geralmente, nos trabalhos da área de Ensino de Ciências que se encontram na literatura (MOREIRA; LAGRECA, 1998/ MOREIRA, 2002/ SANTOS; GRECA, 2005), as representações são abordadas como representações internas e representações externas, ou seja, em termos *diádicos*, como se o processo de ensino envolvesse um processo de internalização de representações externas. Por outro lado, a Semiótica Peirceana não envolve

dicotomias, visto que a representação é contextual e que, desse modo, não há sentido falar de externo e interno.

Esta Tese refere-se à investigação dos processos de ensino e aprendizagem de conceitos relativos a disciplinas de Química Orgânica em uma **IFES** (Instituição Federal de Ensino Superior) do nordeste do Brasil (Universidade Federal de Sergipe - **UFS**). No presente estudo, defende-se, a partir da Semiótica Peirceana, que uma estrutura conceitual triádica oferece diferentes perspectivas de análise quanto ao ensino e ao aprendizado das representações da Química Orgânica, cujo difícil domínio parece ser um dos fatores responsáveis pelo alto índice de fracasso que, muito frequentemente, está associado a essas disciplinas em diferentes **IES** (Instituições de Ensino Superior).

Segundo essa abordagem semiótica, as representações podem ser interpretadas considerando-se os níveis de relações (significação, objetivação, interpretação) estabelecidos pelos signos e efetivados pelos alunos (intérpretes), o que implica em observar as relações ou generalizações conceituais estabelecidas por eles durante suas ações (por exemplo, resolução de exercícios, questões em provas, perguntas em aulas), as quais possibilitam que se observem elementos indicativos do seu pensar.

Para Peirce (2000), todo e qualquer fenômeno, objeto ou situação do mundo real pode ser percebido, decodificado ou interpretado por aquilo que se chama '*tríade semiótica*', como sumariado no Quadro 3.1.

- i) *nível da primeiridade* (signo; referente) - nível mais básico e elementar da percepção, onde o objeto existe apenas enquanto signo, já que ainda não foi interpretado.
- ii) *nível da secundidade* (interpretação; significado; relações) - no segundo nível semiótico, o objeto passa a ser interpretado; a ação sobre o objeto pode conduzir a diferentes interpretações.
- iii) *nível da terceiridade* (representação; significante; conceituar) - após o processo anterior de produção de significado (interpretação), ocorre um processo de síntese, produzindo, em certa medida, uma forma estratificada de interpretação e consequente registro em relação a esta interpretação; é a fase da representação, que pode ser realizada por diversos meios (verbal, pictórica, escrita, por exemplo).

Quadro 3.1: Tríade semiótica.

Os dados foram coletados durante as aulas do curso de *Química dos Compostos Orgânicos I* (60 horas/aula) e *Química dos Compostos Orgânicos II* (60 horas/aula) a partir da observação de como as atividades são propostas, da natureza dos eventos ocorridos durante as aulas, dos tópicos desenvolvidos e das ferramentas utilizadas pelos professores durante as aulas. A observação foi mais direcionada para aquelas atividades que envolveram algum tipo de conteúdo representacional podendo influenciar ou não em determinados processos de semiose, ou seja, reconhecer e identificar determinados aspectos que podem estar presentes na constituição do signo e de sua atividade, como por exemplo, uso ou não de ferramentas de

visualização, tipo da representação usada na lousa, uso ou não de cores diferentes para destacar algum ponto específico da representação, manipulação ou não de modelos moleculares ou virtuais pelos estudantes (estratégias de comunicação). Busca-se compreender e relacionar o papel pedagógico da escolha de determinadas situações didáticas, numa abordagem semiótica, considerando a estruturação dos conceitos e teorias envolvidos no ensino de Química Orgânica, tendo em vista a interpretação, elaboração e representação do conhecimento.

As relações entre a tríade pedagógica [Perceber – Relacionar – Conceituar] se correlacionam às três categorias universais do pensamento que são a essência da concepção da Semiótica Peirceana (primeiridade, secundidade e terceiridade), na relação entre o signo, o objeto e o interpretante. Dessa relação triádica desenvolvida pelo correlato Signo, Objeto e Interpretante tem-se, semioticamente, no nível **Perceber**, o Objeto sendo representado através da observação, tendo como elemento primeiro e singular o Perceber (qualidade), que se configura a partir de uma “rede de percepções” que apontam informações sobre o Objeto investigado, chegando a possíveis formulações sógnicas no nível **Perceber/Relacionar**. O nível **Conceituar**, decorrente dessa série interpretativa, constitui o interpretante de maior significado para com o *Objeto*, podendo ser considerado em nível de terceiridade (geração de interpretantes tendendo à simbolização), que deverá engendrar um conceito com a máxima significação, o signo genuíno (MANECHINE; CALDEIRA, 2010).

Na Teoria da Percepção, na óptica da Semiótica Peirceana, as leis consideradas ‘naturais’ são interpretações da realidade e, portanto, pertencem ao domínio da semiótica. Nesse caso, pode-se afirmar que, do ponto de vista ontológico, há certa coerência entre os sistemas reais e os sistemas sógnicos. Desse modo, quando se fala em fenômenos naturais pertencentes às chamadas Ciências Naturais (Física, Química e Biologia), tem-se, necessariamente, que falar em percepção desses fenômenos, pois a interpretação da realidade é configurada pela percepção. Assim sendo, sempre existe uma correspondência entre a percepção do fenômeno, seu significado e sua interpretação.

3.2. Metodologia de pesquisa

Neste estudo, intitulado **“Processos de ensino e aprendizagem de conceitos de Química Orgânica sob um olhar da Semiótica Peirceana”**, na coleta de informações empregaram-se procedimentos metodológicos que buscam compreender os processos de significação e de representação em uma disciplina de Química Orgânica. Em termos metodológicos, optou-se por fazer uma triangulação da análise documental com a entrevista e a observação, com base na metametodologia. Essa abordagem permite desafiar as práticas tradicionais uniformes, questionar alguns procedimentos padronizados, para apresentar, de

forma objetiva, experimentos e métodos de coleta e análise de informações, pois essa abordagem metodológica possibilita relacionar temas e teorias das mais diversas formas, sem preconceitos ou qualquer barreira, sempre priorizando o discurso polifônico e multivocal (SIMEÃO; MIRANDA, 2006).

No presente trabalho, delimitou-se a sala de aula como núcleo de uma rede de atividades para a formulação de situações de estudo. A justificativa por essa opção reside na oportunidade que a sala de aula fornece como meio de intercomunicação, na qual o professor apreende as participações de cada aluno em relação a um conjunto de atividades propostas ou negociadas. Ao curso de uma disciplina são propostos problemas, exercícios, testes, provas, seminários, situações de estudo, que vão ser ampliadas por atividades que também se prolongam fora da sala de aula. Na sala de aula, o professor determina o conteúdo, a forma e as ferramentas que serão utilizadas no processo de ensino e aprendizagem de determinado conceito.

A observação realizada foi uma observação do tipo observação participante com nível de participação menor, ou seja, o observador apenas assiste à situação. Como define Gil (1999): “(...) o pesquisador permanece alheio à comunidade, grupo ou situação que pretende estudar, observa de maneira espontânea os fatos que aí ocorrem”. Neste estudo, a observação participante foi estruturada de modo que o observador soubesse antecipadamente o que iria observar, dispondo de categorias previamente definidas de acordo com seus objetivos, ou seja, tratava-se de um tipo de observação sistemática. Para Gil (1999): “...na observação sistemática o pesquisador, antes da coleta de dados, elabora um plano específico para a organização e o registro das informações. Isto implica estabelecer, antecipadamente, as categorias necessárias à análise da situação”.

As disciplinas de *Química dos Compostos Orgânicos I (QCOI)* e *Química dos Compostos Orgânicos II (QCOII)*, ministradas para alunos de Licenciatura em Química, período diurno, que foram objeto de análise estão descritas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Turmas selecionadas para análise das aulas

(QCOI)		(QCOII)	
T1	52 estudantes Campus Professor Alberto Carvalho Itabaiana/SE Semestre 2010/1	T2	40 estudantes Campus Professor Alberto Carvalho Itabaiana/SE Semestre 2009/1

O modelo metodológico prevê quatro momentos ou tipos de atividades que compõem a rede de situações de estudo: (i) observação sistemática nas disciplinas de **QCOI** e **QCOII**; (ii) estudo das avaliações utilizadas pelos professores em suas disciplinas; (iii) análise das respostas dos alunos às avaliações; iv) questionário aplicado a professores e estudantes, com

duas questões, uma envolvendo os conteúdos relativos ao ensino de Química Orgânica e, a outra, envolvendo os conteúdos relativos à noção estrutural em Química.

A observação sistemática nas disciplinas de **QCOI** e **QCOII** foi realizada nos semestres 2010/1 e 2009/2. O estudo das avaliações e a análise das respostas dos alunos às avaliações foi realizado com questões aplicadas às duas disciplinas que foram objeto de análise sobre a disciplina (*Campus* Professor Alberto Carvalho) e de outras turmas de estudantes de licenciatura em Química (*Campus* Professor Aloísio de Campos/São Cristóvão, SE) durante o ano de 2011 e 2012. O questionário foi aplicado a professores e estudantes de Química Orgânica nos anos de 2012 e 2013.

3.2.1- Coleta de dados com o grupo de professores da disciplina de Química dos Compostos Orgânicos I e Química dos Compostos Orgânicos II

Em relação aos professores, os dados foram coletados por meio de duas técnicas: observação participante (sistemática) e questionários. A observação das aulas foi estruturada na busca de interpretar como os professores utilizam as representações no ensino dessas disciplinas na relação com os alunos por meio do conteúdo, da forma e das ferramentas utilizadas em sala de aula, considerando que o signo é sempre mediador no processo representativo (PEIRCE, 2000). Como instrumento para coleta de dados durante o desenvolvimento do curso de **QCOI** e **QCOII**, fez-se uso do método da observação participante e sistemática (CHIZOTTI, 1995/ RICHARDSON, 1999/ GIL, 1999), na qual o observador integra-se ao grupo com a finalidade de obter informações. Durante a observação e sistematização dos dados, utilizou-se do modelo proposto por Araujo Neto (2009), como sumariado no Quadro 3.2.

Nesse modelo (ARAUJO NETO, 2009) se considera o professor como o controlador das formas de uso que organizam e constroem as relações de significados. Para tanto, procura-se identificar, nos episódios, as formas usadas pelo professor no trato com determinadas ferramentas mediais simbólicas. Ao mudar de um episódio para outro pode ser identificada uma mudança de propósito na ação do professor, bem como as relações que podem ocorrer entre as ferramentas. Durante as aulas, pretende-se 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 representativamente. Pretende-se criar vínculos entre as questões advindas da análise dos episódios de sala de aula com as perspectivas semióticas concernentes à representação no ensino destas disciplinas.

a)	<i>Conteúdo:</i> são os conceitos abordados em sala de aula e os chamados conteúdos simbólicos, que ocorrem durante a realização de processos semióticos.
b)	<i>Forma:</i> é a realização do conteúdo por meio de uma ferramenta; nenhuma forma é possível sem um processo mediador que tensione múltiplas ferramentas para a conquista de significados; a forma pode ter uma função expressiva, representativa e significativa, pois uma forma simbólica se realiza somente por meio de seu uso: o signo isolado não possui forma simbólica.
c)	<i>Ferramenta:</i> são os meios de produção e de constituição da atividade simbólica a partir de seus usos. A ferramenta é um meio de produção de formas simbólicas a partir de certos conteúdos. As representações gráficas e materiais, os chamados modelos moleculares, em suas diferentes manifestações e especificidades de construção (varetas, bolas, bolas-varetas, superfícies, modelos virtuais, por exemplo), brinquedos, artefatos de uso pessoal, ou o próprio corpo, podem ser tomados como ferramentas nos processos de ensino-aprendizagem dos conteúdos de Química Orgânica.

Quadro 3.2- Modelo de organização e construção de relações (ARAUJO NETO, 2009).

Nosso interesse nesta análise converge 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. Os dados usados como materiais de pesquisa fazem um recorte da abordagem do professor com relação aos símbolos da Química Orgânica, durante a condução de seu curso. Portanto, desse modo, a observação sistemática foi estruturada, planejada e documentada. Para tanto, a organização e o registro das informações estão organizados em categorias de mapa de eventos (*vide* Tabela 3.2). Essa ferramenta tem o objetivo de tentar compreender: 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 ferramentas em uso; iv) organizar os tipos de conteúdos curriculares que são contemplados nas aulas. O mapa de eventos foi organizado sequencialmente segundo as aulas ministradas nas disciplinas Química dos Compostos Orgânicos I e Química dos Compostos Orgânicos II. O formato obedece a idéia de uma tabela contendo número de ordem, data do evento, detalhamento, natureza do evento, tópicos e ferramentas (Tabela 3.2).

Tabela 3. 2- Fragmento de mapa de eventos das disciplinas observadas (adaptado de Araujo-Neto, 2009).

Nº.	Data	Detalhamento e/ou temas envolvidos.	Natureza do Evento ^a	Tópicos ^b	Ferramentas ^c
		Descrição do tema ou conceitos abordados na aula e identificação da abordagem metodológica empregada.	Identificação da natureza de eventos que, embora vinculados à organização da aula, envolvem conteúdos explicativos.	São conteúdos abordados nas disciplinas de Química dos Compostos Orgânicos I e II.	Atividade simbólicas de caráter fundamentalmente mediador.

- a. *Eventos* podem ser explicativos e/ou organizativos. Eventos explicativos (**EE**) são delimitados por dois critérios: mudanças de conteúdo ou temas e mudança de contexto para um mesmo conteúdo curricular. Abrange os enunciados produzidos pelo professor sobre um objeto, situação ou conceito, tenham sido estabelecidos relações causais entre eles ou não. Eventos organizativos (**EO**) são aqueles de administração das atividades do curso (pedidos de silêncio, comunicados, negociação da agenda do curso e outras intervenções necessárias).
- b. *Tópicos* são os conteúdos abordados nas disciplinas de Química dos Compostos Orgânicos I e II, (*vide* as sequências de ensino apresentadas nos Quadros 3.1 e 3.2), tendo sido classificados em quatro subcategorias: a) *técnica de representação (TR)*, abrangendo o ensino de técnicas específicas para representação de entes químicos e a transposição entre diferentes representações. Envolve o reconhecimento de técnicas de representação; b) *habilidade espacial (HE)*, abrangendo explicações sobre envolvem operações associadas à eventual habilidade de visualização espacial dos alunos. (procedimentos de rotação, translação, deslocamento, corte ou separação realizados com ferramentas gráficas, materiais ou gestuais); c) *estrutura e atividade (EA)*, que reúne a discussão da associação de características estruturais às propriedades da substância (correspondência entre estruturas representacionais e propriedades observáveis); d) *característica estrutural (CE)*, refere-se a características específicas da estrutura representacional de entes químicos que permitem, por exemplo, a compreensão de sua atividade química e a distinguem de outras estruturas.
- c. *Ferramentas* são representações gráficas e materiais; os chamados modelos moleculares, brinquedos, artefatos e o próprio corpo podem ser tomados como ferramentas mediais simbólicas, bem como o papel da linguagem e das palavras nesse processo. O que se considera nessa categoria é o fato do professor ser o controlador das formas de uso das ferramentas mediais simbólicas. Pretende-se avaliar relações que podem ocorrer entre ferramentas. As ferramentas desenvolvem um processo semiótico exclusivo nas atividades de sala de aula, pois têm a função de representar o que não pode ser visto, substituindo os entes químicos, ainda que incompletamente. As subcategorias de ferramentas são agrupadas em três ordens distintas: i) *gráfica (GR)*, atribuída quando o professor utiliza o quadro ou outro meio de suporte gráfico (escrita) para desenvolver atividades ou apresentar enunciados (quadro, projeção de diapositivos ou filmes); ii) *gestual (GE)*, quando o professor utiliza o próprio corpo ou parte dele como um elemento da atividade representativa (são aquelas atividade gestuais que tomam lugar de um ente no circuito representativo da explicação do professor; um exemplo típico de uma representação gestual é a explicação do significado da quiralidade de moléculas usando a relação existente entre a mão direita e a mão esquerda, para explicar essa dissimetria (Figura 3.1), pela comparação com o que se percebe ao se olhar as mão esquerda e direita, que não são superponíveis, assim como suas imagens, invertidas, no espelho). iii) *material (MA)*: quando o professor usa qualquer meio ou produto material (brinquedos, bolas, varetas, modelos moleculares, por exemplo) como suporte para sua atividade e como signo de um processo de representação.

Figura 3. 1- Imagem especular da mão esquerda é a mão direita. Mão esquerda e direita não se sobrepõem.

Nessa etapa da pesquisa procurou-se identificar os signos gráficos usados pelos professores em processos representativos durante as aulas de **QCOI** e **QCOII**. Foram destacados e identificados episódios de uso de ferramentas, conteúdos e de formas simbólicas

onde se verificava o uso de diferentes formas de representação. Neste primeiro momento da coleta, buscou-se verificar e identificar como eram propostos os conteúdos aos alunos, de modo a perceber o papel das representações na resolução dos exercícios, problemas e na compreensão de conceitos.

As observações foram realizadas *“in loco”* acompanhando 60 horas/aula da disciplina de **QCOII**, no segundo semestre de 2009, e de 60 horas/aula da disciplina de **QCOI**, no primeiro semestre de 2010 no curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Sergipe. Um conjunto de anotações é determinado pelo mapa de eventos (Tabela 3.2), no qual se registra: a) frequência com que os professores usam diferentes tipos de representações; b) preferência pelo uso de representações gráficas ou não gráficas; c) frequência de utilização de diferentes modos de representações.

A outra técnica utilizada na coleta de dados junto aos professores foi essencialmente constituída por um questionário, com duas questões, uma envolvendo os conteúdos relativos ao ensino de Química Orgânica e, outra, envolvendo os conteúdos relativos à noção estrutural em Química. Cada questão é composta por vários itens. As questões buscam verificar algumas concepções relativas aos processos de ensino e aprendizagem de conceitos da Química Orgânica e noções de representação estrutural dos professores na busca de relacioná-las ao processo de construção de uma linguagem química. Os professores-sujeitos desta pesquisa são de diferentes universidades públicas e de diferentes regiões do país. O instrumento empregado como fonte de dados está apresentado no Quadro 3.3.

a) Questões relativas ao ensino de Química Orgânica

- 1) A disciplina de Química Orgânica já há algum tempo vem sendo considerada uma das disciplinas na área de Química em que os estudantes mais apresentam dificuldades. Considerando sua experiência enquanto professor, a que fatores você atribui estas dificuldades de aprendizagem?
- 2) Que tipo de abordagens dos conteúdos você prioriza em suas aulas?
- 3) Durante as aulas você faz uso de objetos moleculares, tipo bola e varetas, modelos virtuais, entre outros? Você considera que tais ferramentas auxiliam no processo de aprendizagem? Comente.

b) Questões relativas à noção estrutural em Química

- 1) Quais tipos de representações estruturais são mais utilizados durante as aulas de Química Orgânica?
- 2) Qual o papel da representação no ensino de Química Orgânica?
- 3) Como você representa a molécula de propanol na lousa durante uma aula?
- 4) O que é uma molécula e o que é uma representação dessa molécula?
- 5) É muito frequente ouvirmos que os alunos não aprendem porque não conseguem visualizar as moléculas no espaço. Em sua opinião, o que é visualização espacial?
- 6) Em quais tópicos de conteúdo você considera que a capacidade de visualização espacial é fundamental no processo de ensino e aprendizagem?
- 7) Seus alunos trabalham com ferramentas de visualização espacial durante as aulas de Química Orgânica? E durante as provas, você permite que eles façam uso de objetos moleculares?

Quadro 3.3. Questões do questionário respondido pelos professores de Química Orgânica

3.2.2- Coleta de dados com o grupo de estudantes das disciplinas de Química dos Compostos Orgânicos I e Química dos Compostos Orgânicos II

Selecionaram-se cinco grupos de estudantes universitários para análise das provas: três grupos matriculados na disciplina de **QCOI** e dois grupos matriculados na disciplina de **QCOII**. Todos os estudantes são do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Sergipe. Uma turma é do *Campus-sede* da universidade (*Campus* Professor Aloísio de Campos, São Cristóvão, SE) em que o curso de Licenciatura funciona há mais de 40 anos. As demais turmas são do *Campus* Professor Alberto Carvalho (Itabaiana, SE), onde o pesquisador é docente desde 2008. Este último curso se iniciou em 2006, no âmbito do **REUNI** (Programa de Reestruturação das Universidades Federais). As turmas que fizeram parte do estudo estão caracterizadas na Tabela 3.3. As ementas e o programa das disciplinas observadas (**QCOI** e **QCOII**) são apresentados no Anexo 1.

Tabela 3. 3- Turmas investigadas neste trabalho.

QCOI		QCOII	
T1	70 estudantes <i>Campus São Cristóvão</i> 2009-2	T1	40 estudantes <i>Campus Itabaiana</i> 2009-1
T2	38 estudantes <i>Campus Itabaiana</i> 2009-2	T2	35 estudantes <i>Campus Itabaiana</i> 2010-2
T3	52 estudantes <i>Campus Itabaiana</i> 2010-1		

O foco central da investigação com os estudantes é a análise de suas repostas na resolução de problemas que envolvam diferentes formas de linguagem (forma, visual, gráfica, por exemplo). O objeto de estudo, nesse caso, foram provas escritas (avaliações) que os estudantes realizaram durante o curso regular. Como pode ser observado no Anexo 01 (p. 241), estão previstas três provas escritas para cada disciplina durante o semestre. Na análise das respostas dadas pelos estudantes utilizou-se do referencial teórico construído a partir das relações tecidas entre a Semiótica Peirceana e as Ciências Cognitivas.

Para as análises das questões elaboradas para as provas foram definidas categorias e subcategorias como variáveis de análise. Como já salientado anteriormente, a tríade pedagógica **Perceber-Relacionar-Conceituar** é fundamental na correlação entre esses três elementos e as categorias universais do pensamento na relação entre o signo, objeto e o interpretante.

- a) O signo como qualidade – predominam possibilidades. São identificadas as características qualitativas percebidas nos elementos visuais (cores, formas), verbais

(tipografias) do signo. Quais as qualidades que o fazem signo? O que faz esse signo perceptível? O que ele intenta significar? Enfim, observam-se as possibilidades de significação.

- b) O signo como existente - predominam os elementos relacionais. Aqui ele deve ser analisado pelas suas conexões, significações e associações. Em qual contexto está inserido? Quais as possíveis interpretações deste signo?
- c) O signo em sua generalidade - predominam os elementos internalizados em regras e leis. Quais as interpretações gerais encontradas? As interpretações realizadas atingiram os objetivos para os quais o signo foi criado? Há outras possibilidades interpretativas?

As provas analisadas foram aplicadas no transcorrer do curso regular das disciplinas de **QCOI** e **QCOII** ministradas durante os semestres de 2009/2 (**QCOII**), 2010/1 (**QCOI**) e 2010/2 (**QCOII**). Foram realizadas três provas durante o semestre em cada disciplina, o que deveria corresponder a 480 provas de **QCOI** e de 265 provas de **QCOII**. Para este estudo teve-se acesso a 254 provas de **QCOI** e 104 provas de **QCOII**, visto que um grande número de estudantes não realizou a terceira avaliação, ou seja, abandonou o curso após a segunda avaliação. As provas tinham, em média, 10 questões. Somente as questões em que o uso de representações foi fundamental no processo de resolução dos problemas (aproximadamente 05 questões por prova) foram objeto de análise.

Na análise das respostas dos estudantes, considerou-se que aprender a linguagem da Química implica que os textos produzidos pelos alunos – ou seja, o expresso por eles – também tenha sentido para a ciência. Nessa acepção, a aprendizagem da Química não se separa das formas diversas e nem da estrutura (semântica e sintática) da linguagem dessa área de conhecimento. Uma vez que a linguagem científica tem características específicas (impessoalidade, clareza, precisão e objetividade) e que sua aprendizagem pode ser comparada a um processo de enculturação, ou seja, que aprender Ciência é se envolver na cultura científica, apreendendo parte de suas linguagens, métodos, processos e práticas, adquirindo novas visões de mundo e ampliando as antigas (MORTIMER; MACHADO, 1996). O estudo do papel dessa linguagem nos processos que envolvem ensino e aprendizagem da Química, e em especial, na avaliação da aprendizagem, se torna relevante para a pesquisa em didática. Nessa etapa, pretendeu-se verificar se há relação entre a capacidade representacional e o desempenho dos alunos nas disciplinas de Química Orgânica. Para tanto, foram selecionadas questões que permitissem identificar as relações entre a percepção e a construção do conhecimento sobre o tema abordado, ou seja, sua conceituação.

Para relacionar a noção estrutural em Química dos estudantes com a dos professores, foi utilizado outro instrumento na coleta de informações junto aos estudantes, ou seja, um questionário, com duas questões, das quais uma envolvia conteúdos relativos ao ensino de

Química Orgânica enquanto, a outra, aqueles referentes à noção estrutural em Química. O instrumento para obtenção das informações está sumariado no Quadro 3.4.

a) Questões relativas ao ensino de Química Orgânica

- 1) Comente sobre sua experiência durante a disciplina de Química Orgânica.
- 2) Você teve algum tipo de dificuldade durante o estudo da disciplina? Em caso afirmativo cite quais tópicos apresentaram maiores dificuldades para você. *Comente.*
- 3) *Em sua opinião, o uso de ferramentas de visualização, como objetos moleculares (bola e varas) e/ou modelos virtuais (representações digitais) auxiliam no processo de aprendizagem da Química Orgânica? O professor faz uso de tais ferramentas? Comente.*

b) Questões relativas à noção estrutural em Química

- 1) Quais tipos de representações estruturais são os mais utilizados durante as aulas de Química Orgânica?
- 2) Qual o papel das representações no ensino de Química Orgânica?
- 3) Como você representa uma molécula de propanol?
- 4) O que significa uma molécula?
- 5) O que é uma representação estrutural da molécula?
- 6) Quais são as possíveis (ou possível) interpretações fornecidas pela análise das representações estruturais e que seriam imperceptíveis em fórmulas moleculares?

Quadro 3.4- Questões do questionário respondido pelos estudantes de graduação em Química.

Com essa diversidade de fontes procura-se caracterizar a situação da forma mais completa possível e, simultaneamente, atender a outro aspecto fundamental da metodologia qualitativa que é a triangulação de dados, o que significa olhar para o mesmo fenômeno a partir de fontes distintas (ERIKSON, 1998).

Em relação aos questionários, foi encaminhado um termo de consentimento livre e esclarecido tanto para os professores como para os estudantes (Anexo 02, p. 241).

CAPÍTULO 04

APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1	Apresentação e análise sobre o ensino de Química dos Compostos Orgânicos I e Química dos Compostos Orgânicos II	115
4.2	Apresentação e análise sobre a aprendizagem de Química dos Compostos Orgânicos I e Química dos Compostos Orgânicos II	149
4.3	Apresentação e análise sobre a noção estrutural de estudantes e professores de Química Orgânica	191
4.3.1	Análise dos resultados do questionário aplicado a estudantes de Química Orgânica	192
4.3.2	Análise dos resultados do questionário aplicado a professores de Química Orgânica	203
4.4	Comparação dos resultados obtidos a partir das diferentes fontes de coleta de informações	209

Figura 4. 1.	Representação estrutural na forma de traços e na forma condensada para a molécula de etanol.	120
Figura 4. 2.	Representação estrutural usual em 3D para a molécula de etanol.	120
Figura 4. 3.	Representação estrutural com modelo físico bola-varas para a molécula de etanol.	121
Figura 4. 4.	Representação para a desidratação de um álcool em solução ácida.	125
Figura 4. 5.	Representação para o mecanismo de reação de desidratação para o etanol.	125
Figura 4. 6.	Representação usual 3D para o íon alcóxido.	126
Figura 4. 7.	Representação usual 3D para duas moléculas.	126
Figura 4. 8.	Diferentes modelos de estruturas para uma molécula de éter.	128
Figura 4. 9.	Representação do ângulo da ligação entre a carbonila e os diferentes grupos R.	128
Figura 4.10.	Característica dos compostos carbonílicos é a acidez dos hidrogênios.	129
Figura 4.11.	Representação do mecanismo de racemização de cetonas e aldeídos contendo um centro quiral α -carbonílico.	129
Figura 4.12.	Representação gráfica do potencial de energia de hidratação de aldeídos e cetonas (retirada de SOLOMONS; FRYHLE, 2005).	130
Figura 4.13.	Representação do mecanismo da reação de Wittig.	131
Figura 4.14.	Representação do mecanismo de substituição nucleofílica no grupo acila.	131
Figura 4.15.	Representação do mecanismo de síntese de aminas.	139
Figura 4.16.	Representação da molécula de etanol pela Projeção de Newman.	140
Figura 4.17.	Representação usando Projeção de Newman para os diferentes confômeros do etano.	140
Figura 4.18.	Representação na forma de um diagrama a relação entre os confômeros com a energia torsional.	141
Figura 4.19.	Representação da imagem de uma molécula quiral no espelho.	143
Figura 4.20.	Representação usando a Projeção de Fisher para as três formas diferentes da molécula da D-glicose.	144
Figura 4.21.	Representação do arranjo alternado dos substituintes na conformação cadeira.	145
Figura 4.22.	Representação de um ataque nucleofilo a um haleto de alquila.	146
Figura 4.23.	Representação de um ataque nucleofilo a um haleto de alquila.	146
Figura 4.24.	Representação da estereoquímica de uma reação tipo SN_2 .	147
Figura 4.25.	Padrão de repostas dos alunos que tiveram dificuldades em resolver a questão.	151
Figura 4.26.	Padrão de respostas dos alunos que resolveram adequadamente a questão.	151
Figura 4.27.	Padrão de resposta de alunos que tiveram dificuldades em resolver a questão.	154
Figura 4.28.	Padrão de representações dos alunos que obtiveram êxito em resolver a questão.	156
Figura 4.29.	Padrão de representações dos alunos que não obtiveram êxito em resolver a questão.	157
Figura 4.30.	Modelos de estruturas para o cis-1-etil-4-metilciclo-hexano e trans-1-etil-4-metilciclo-hexano.	158
Figura 4.31.	Padrão de respostas de alunos que resolveram adequadamente a questão.	159
Figura 4.32.	Padrão de representações dos alunos que não obtiveram êxito em resolver a questão.	162
Figura 4.33.	Padrão de respostas dos alunos que não obtiveram êxito na identificação da estereoquímica da reação.	163
Figura 4.34.	Padrão de representações dos alunos que obtiveram êxito na formação da representação e da estereoquímica da reação.	164
Figura 4.35.	Padrão de representações dos alunos que obtiveram êxito na formação da representação e da estereoquímica da reação.	166

Figura 4.36.	Padrão de respostas de estudantes que não apresentaram dificuldades na construção das estruturas.	166
Figura 4.37	Padrão de respostas de estudantes que apresentaram dificuldades na construção das estruturas..	168
Figura 4.38	Etapas de iniciação, propagação e fechamento da cadeia.	169
Figura 4.39	Desenho da estrutura de Lewis na tentativa de resolver o problema.	169
Figura 4.40	Desenho da estrutura de Lewis na tentativa de resolver o problema.	170
Figura 4.41.	Desenho da estrutura plana (traços) na tentativa de resolver o problema.	171
Figura 4.42.	Padrão de respostas dos estudantes que responderam corretamente a questão.	172
Figura 4.43	Padrão de respostas dos estudantes que tiveram dificuldades em resolver a questão.	174
Figura 4.44	Padrão de resposta dos estudsnates que responderam adequadamente a questão.	175
Figura 4.45.	Padrão de resposta dos estudantes que não responderam adequadamente a questão.	176
Figura 4.46	Padrão de resposta dos alunos que responderão adequadamente a questão.	177
Figura 4.47	Padrão de resposta dos estudantes em relação à questão.	180
Figura 4.48	Padrão de resposta dos estudantes com dificuldades na conversão entre modos representacionais.	181
Figura 4.49.	Padrão de resposta dos alunos com dificuldades na representação da inversão da configuração.	181
Figura 4.50.	Padrão de resposta de estudantes responderam adequadamente a questão.	183
Figura 4.51.	Padrão de resposta dos estudantes com dificuldades na resolução da questão.	186
Figura 4.52.	Padrão de resposta dos estudantes com dificuldades na resolução da questão.	187
Figura 4.53.	Representação estrutural na forma de linhas de ligação para diferentes compostos.	195
Figura 4.54.	Representação na forma tridimensional para a molécula de 2-bromobutano.	195
Figura 4.55	Representação na forma de traços para a molécula de álcool isopropílico.	195
Figura 4.56	Representação para uma reação de substituição bimolecular.	201
Figura 4.57	Representação para a molécula de propanol na forma de linhas de ligação.	207

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1.	Mapas de eventos para a disciplina QCOII (2009.2).	118
Quadro 4.2.	Mapas de eventos para a disciplina QCOI (2010.1).	137
Quadro 4.3.	Questões da segunda prova realizada.	160
Quadro 4.4.	Questões da terceira prova de QCOI .	165
Quadro 4.5.	Questões da primeira prova de QCOII .	179
Quadro 4.6.	Questões da prova 02 de QCOII .	186
Quadro 4.7.	Questões da prova 03 de QCOII .	187
Quadro 4.8	AEP (alunos com experiência positiva na disciplina de Química Orgânica).	192
Quadro 4.9	AEN (aluno com experiência negativa na disciplina de Química Orgânica).	192
Quadro 4.10	Relato de experiência na disciplina de Química Orgânica.	193
Quadro 4.11	Relato sobre o uso de ferramentas de visualização durante as aulas de Química Orgânica.	193
Quadro 4.12	Respostas dos estudantes de química sobre moléculas e representação de moléculas.	199
Quadro 4.13	Opinião dos professores sobre as dificuldades dos estudantes..	204

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1.	Acidez de alguns álcoois e suas características.	125
Tabela 4.2.	Frequência das formas de pensar em relação ao papel da representação no ensino de Química Orgânica.	196
Tabela 4.3.	Frequência das formas de pensar em relação ao conceito de molécula.	197
Tabela 4.4.	Frequência das formas de pensar em relação a representação estrutural de uma molécula.	199
Tabela 4.5.	Concepção em relação ao significado de uma estrutura química.	200
Tabela 4.6.	Frequência das formas de pensar em relação à interpretação do diagrama.	201
Tabela 4.7.	Dificuldades de aprendizagem em Química Orgânica na visão dos professores.	203
Tabela 4.8.	Forma de abordagem de conteúdos priorizados.	204
Tabela 4.9.	Papel da representação no ensino de Química Orgânica.	205
Tabela 4.10.	Frequência das formas de pensar em relação ao conceito de molécula.	206

4.1- Apresentação e análise sobre o ensino de Química dos Compostos Orgânicos I e Química dos Compostos Orgânicos I

A primeira fase deste estudo foi realizada durante o período de um ano, que corresponde à duração de dois semestres letivos dos cursos de Química dos Compostos Orgânicos I - **QCOI** (2010.1) e Química dos Compostos Orgânicos II - **QCOII** (2009.2). Para conseguir ter acesso a uma maior quantidade de informações, a pesquisa foi estruturada por meio de uma observação sistemática planejada e documentada. Nessa fase do estudo, as fontes primárias utilizadas como método de coleta de informações foram angariadas a partir de observações sistemáticas realizadas durante as aulas de **QCOI** e **QCOII**.

O registro e a organização das informações foram feitos segundo categorias em um mapa de eventos previamente planejado (Quadros 4.1 e 4.2). Essa ferramenta teve como objetivo compreender: a) como o tempo é gasto no transcurso de uma aula; b) destacar temas e conceitos que estão em jogo durante as atividades; c) assinalar de forma abrangente os tipos de ferramentas em uso; d) organizar os tipos de conteúdos curriculares que são contemplados nas aulas. O mapa de eventos foi organizado sequencialmente segundo as aulas das disciplinas **QCOI** e **QCOII**.

Os mapas de eventos procuram representar as sequências didáticas de aulas que foram ministradas durante o curso. São ferramentas importantes na organização dos registros observados durante as aulas e servem para localizar episódios que se constituirão em material empírico que será analisado na medida em que se verificar a presença de algum evento de natureza semiótica interessante. A estratégia de apresentação procura levar em consideração as categorias descritas anteriormente, na busca de interpretar a ação dos signos em caráter simbólico que ocorrem na relação professor/aluno por meio do conteúdo, da forma e da ferramenta utilizada em sala de aula. Optou-se por apresentar todas as sequências didáticas durante o semestre e discutir apenas os episódios em que é possível verificar situações relacionadas a aspectos representacionais que ocorrem na relação triádica entre **Significação** (Perceber) – **Objetivação** (Relacionar) e **Interpretação** (Conceituar), como sumariada no Quadro 4.1.

O acompanhamento das 60 horas/aula da disciplina de **QCOII** foi uma etapa importante na realização deste trabalho, pois, como se pretendia identificar o

conteúdo, a forma, as ferramentas e, principalmente, os signos gráficos usados nos processos representativos durante as aulas, esse acompanhamento forneceu informa-

n.	Data	Detalhamento dos conteúdos Abordados	¹ Natureza do evento ^a	Tópicos ^b	Ferramentas ^c
1	06/08/09	O tema desenvolvido nessa aula foram características e propriedades dos álcoois. Representação na lousa de moléculas de diferentes álcoois. O professor usou preferencialmente a estrutura de esqueleto na representação das estruturas de álcoois.	EE	TR EA	GR
2	11/08/09	Reatividade e estrutura de álcoois. Apresentação de modelos tridimensionais por meio de ferramentas computacionais. Solicita aos alunos que imaginem o arranjo das moléculas no espaço. Prever algumas propriedades relacionadas a estrutura. Segue a apresentação de uma tabela com as propriedades físicas e a estrutura tridimensional de diferentes álcoois.	EE	TR HE CE	GR MA
3	13/08/09	Acidez dos álcoois. Grupos de saída. Estabilidade de carbocátions. Substituição em álcoois. Inversão estereoquímica. O professor apenas utiliza a representação na forma de esqueleto. Representação na lousa.	EE	TR CE	GR
4	18/08/09	Reações de álcoois. Exemplos na lousa apenas com estrutura na forma de esqueleto.	EE	TR EA	GR
5	22/08/09	Lista de exercícios. O professor colabora com os alunos na resolução de uma lista de exercícios abordando o conteúdo de álcoois.	EO EE	TR	GR
6	25/08/09	Reação de substituição nucleofílica. Reação de éteres. O professor dá muita ênfase aos mecanismos de reações sempre utilizando a representação estrutural na forma de esqueleto.	EE	TR EA	GR
7	27/08/09	Reações de éteres. Clivagem de éteres em meio ácido. Apresentação de mecanismos de reações de éteres por meio de ferramenta computacional (filmes em data-show e projeção na tela).	EE	TR EA	GR MA
8	01/09/09	Reações de aldeídos e cetonas. Apresentação de características, ângulo de ligação, estruturas planas e estrutura de ressonância para aldeídos e cetonas. Apresentação na lousa e por ferramenta computacional.	EE	TR EA	GR
9	03/09/09	Mecanismo de reações de cetonas. Oxidação e redução em compostos orgânicos. Apenas usa a representação na forma de esqueleto.	EE	TR EA	GR
10	10/09/09	Lista de exercícios sobre aldeídos e cetonas.	EO EE	TR	GR
11	10/09/09	Lista de exercícios sobre aldeídos e cetonas.	EO EE	TR	GR
12	15/09/09	Prova 01- realizada sem o auxílio de qualquer ferramenta (física ou virtual)	-	-	-
13	17/09/09	Apresentação dos mecanismos de reações de aldeídos e cetonas. Reação de iminas. A aula foi toda ministrada com imagens no	EE	TR EA CE	MA

¹ Eventos explicativos (EE), Eventos organizativos (EO); Técnica de representação (TR), Habilidade espacial (HE), Estrutura e atividade (EA), Característica estrutural (CE); Gráfica (GR), Gestual (GE), material (MA).

		data show. O professor deu bastante ênfase aos mecanismos de reações e nas características de cada grupo.			
n.	Data	Detalhamento dos conteúdos Abordados	² Natureza do evento ^a	Tópicos ^b	Ferramentas ^c
14	22/09/09	Reações de adição de álcoois a aldeídos e cetonas. Foco no ataque nucleofílico por meio de representações das estruturas de aldeídos e cetonas na lousa. Formação do hemiacetal e acetal.	EE	TR EA	GR
15	24/09/09	Reação de aldeídos e cetonas com ácido cianídrico. Mecanismos para adição conjugada do HCN, de aminas, de imidas. O professor primeiramente utilizou a lousa e depois enfatizou os mecanismos de reações por meio de imagens no data show.	EE	TR EA	GR MA
16	06/10/09	Reação de aldeídos e cetonas com carbonila alfa-beta insaturados. Apresentação e discussão sobre os mecanismos de adição nucleofílica alfa-beta-insaturados. Na aula o professor utilizou o data-show e a lousa. Na lousa o professor sempre destacava com giz de cor diferente o grupo carbonila alfa-beta insaturado nas adição direta ou conjugada e nas possíveis estruturas de ressonância.	EE	TR EA CE	GR MA
18	13/10/09	Aula de exercícios sobre reações de aldeídos e cetonas, ácidos carboxílicos. Identificou-se grande dificuldade em realizar conversões entre diferentes tipos de representação.	EE	-	GR
19	20/10/09	Reações de substituição nucleofílica em acilas. Ênfase no mecanismo, nos grupos de saída, na basicidade relativa dos grupos abandonadores e na reatividade relativa dos grupos acílicos. O professor utiliza, preferencialmente, na representação dos compostos a representação na forma de bastão.	EE	TR EA	GR
20	22/10/09	Obtenção de cloretos de acila. Apresentação e discussão de mecanismos de reações na obtenção de cloretos de acila. O professor enfatiza os processos de representação do ataque nucleofílico sobre o carbocátion, as etapas do mecanismo de formação e os intermediários de reação. As representações foram apresentadas na lousa e o professor usava giz de diferentes cores para destacar etapas importantes no mecanismo de reação.	EE	TR EA	GR
21	27/10/09	Reações de ácidos carboxílicos. Síntese de Gabriel e síntese malônica. Ênfase nas etapas do mecanismo de reação. As representações foram apresentadas na lousa e o professor usava giz de diferentes cores para destacar etapas importantes do mecanismo de reação.	EE	TR EA	GR
22	29/10/09	Aula de resolução de exercícios sobre reações de ácidos carboxílicos.	-	-	-

² Eventos explicativos (EE), Eventos organizativos (EO); Técnica de representação (TR), Habilidade espacial (HE), Estrutura e atividade (EA), Característica estrutural (CE); Gráfica (GR), Gestual (GE), material (MA).

n	Data	Detalhamento dos conteúdos Abordados	Natureza do evento ^a	Tópicos ^b	Ferramentas ^c
23	03/11/09	Aminas: características, propriedades e reações e estrutura. Ênfase na relação entre a estrutura e as propriedades das aminas. Reações e preparação de aminas.	EE ^a	TR ^b EA ^b	GR ^c
24	05/11/09	Reações com sais de diazônio e sais de amônio quaternário. O professor demonstrou na lousa os mecanismos de reações e a formação dos sais de diazônio.	EE ^a	TR ^b	GR ^c
25	10/11/09	Prova 02 – os estudantes realizaram a prova sem o uso de modelos moleculares.	-	-	-
26	13/11/09	Química dos compostos heterocíclicos. Reação e síntese de aminas heterocíclicas. Mecanismos de reações de aminas heterocíclicas como nucleófilos nas reações de alquilação. O professor apresentou e discutiu com os alunos por meio da apresentação das imagens das estruturas e dos mecanismos de reações por meio de data show.	EE ^a	TR ^b EA ^b	MA ^c
22	17/11/09	Heterocíclicos aromáticos contendo mais de um heteroátomo. O professor apresentou e discutiu com os alunos por meio da apresentação das imagens das estruturas e dos mecanismos de reações por meio de data show.	EE ^a	TR ^b EA ^b	MA ^c
28	19/11/09	Heterocíclicos com 2-anéis fundidos. O professor apresentou e discutiu com os alunos por meio da apresentação das imagens das estruturas e dos mecanismos de reações por meio de data show.	EE ^a	TR ^b EA ^b	MA ^c
29	24/11/09	Aula de exercícios.	-	-	-
30	03/12/09	Prova 03 – os estudantes realizaram a prova sem o auxílio de ferramentas de visualização.	-	-	-
a) Eventos explicativos (EE), Eventos organizativos (EO); b) Técnica de representação (TR), Habilidade espacial (HE), Estrutura e atividade (EA), Característica estrutural (CE); c) Gráfica (GR), Gestual (GE), material (MA).					

Quadro 4.1. Mapas de eventos para a disciplina QCOII (2009.2)

(continuação p.117) informações sobre quais fatores determinam o emprego de diferentes representações nessa situação.

De maneira geral, o objetivo da disciplina está centrado na interação entre professor e aluno na construção de conceitos e aplicações da Química Orgânica. Desse modo, ao se analisar o mapa de eventos foi possível identificar como os conceitos são abordados na sala de aula, quais são as ferramentas mais utilizadas durante as aulas e, principalmente, o uso de diferentes representações estruturais.

A partir da análise do desenvolvimento da disciplina de QCOII, com base no mapa de eventos construído, pôde-se tecer as considerações apresentadas nos itens i a vi, para os episódios de 01 a 30, a seguir.

- i) *em relação ao detalhamento dos conteúdos abordados*: os conteúdos foram abordados de acordo com a ordem estabelecida no livro-texto de referência e no programa da disciplina; o professor procurou dar mais ênfase a alguns aspectos que julgou serem os mais relevantes para os processos de ensino e aprendizagem de determinados conceitos; verificou-se que o professor enfatiza aspectos relacionados aos mecanismos das reações, principalmente quando envolvem eletrófilos e nucleófilos; o professor sempre chamava a atenção para a estrutura dos compostos e, então, direcionava o estudo para as propriedades e o comportamento dos compostos.
- ii) *em relação à natureza do evento*: o evento que predominou quase que exclusivamente nas aulas dessa disciplina foi o **EE**³ (evento explicativo).
- iii) para cada aula foi observada a abordagem de um tópico de conteúdo ou de um conceito diferente ou, em muitos casos, um mesmo conceito discutido anteriormente foi aplicado a compostos químicos de funções diferentes.
- iv) *a cada aula, o professor apresentava uma situação ou um conceito procurando estabelecer relações causais entre eles*: eventos explicativos prevalecem em aulas no Ensino Superior devido aos professores serem pouco interativos, como observado por Quadros e Mortimer (2009), que identificaram haver a valorização do professor e dos saberes nas salas de aula do Ensino Superior, sendo o estudante visto como sujeito passivo da triangulação, apenas um receptor de informações.
- v) *em relação aos tópicos*: o tópico predominante foi o **TR** (técnica de representação), no qual o professor fez uso em todas as aulas de técnicas de representação. Também foi possível observar o uso de **EA** (estrutura e atividade), ou seja, muita discussão de características estruturais em função de uma ou mais propriedades observáveis; identificaram-se poucas (ou quase inexistentes) atividades que procurassem desenvolver o uso de **HE** (habilidade espacial), com questões que envolvessem habilidades de rotação ou translação.
- vi) *em relação às ferramentas*: por serem de caráter mediador, ou seja, de caráter simbólico, foi possível identificar o uso quase que exclusivamente da ferramenta **GR** (gráfica), representação gráfica de estruturas moleculares na lousa, transparências ou diapositivos (slides); poucas vezes o professor fez uso de modelos físicos tipo bola-vareta para explicar propriedades dos compostos;

³ Eventos explicativos (**EE**), Eventos organizativos (**EO**); Técnica de representação (**TR**), Habilidade espacial (**HE**), Estrutura e atividade (**EA**), Característica estrutural (**CE**); Gráfica (**GR**), Gestual (**GE**), material (**MA**).

quando trazia os modelos físicos, os alunos apenas observavam os modelos já construídos pelo professor, não manipulavam os modelos e/ou construíam as estruturas das moléculas; em relação às ferramentas computacionais, o professor apenas citava e/ou demonstrava modelos virtuais em **3D** de moléculas (os alunos não manipulavam e nem eram estimulados a usar tais programas).

Alguns episódios que aconteceram durante as aulas serão apresentados com mais detalhes para que se possa compreender melhor como se davam as relações durante as aulas, de acordo com a natureza do evento, os tópicos e as ferramentas utilizadas.

✓ **Episódio de n. 01 (06/08/2009):** o tema desenvolvido nessa aula foi sobre *Características e Propriedades dos Álcoois*. O professor inicia a aula solicitando que os alunos desenhem em seus cadernos a estrutura do etanol. Para representar a substância, quase a totalidade dos alunos representou a molécula de etanol usando, como recurso, a fórmula estrutural (Figura 4.1a) e, alguns, a fórmula condensada (Figura 4.1b).

Figura 4.1. Representação estrutural para a molécula de etanol, na forma de traços e na forma condensada.

Após verificar as estruturas construídas, o professor solicita aos alunos que façam, também, uma representação da estrutura para a molécula de etanol considerando-a no espaço, ou seja, uma representação **3D** (tridimensional), como representado na Figura 4.2.

Figura 4.2. Representação estrutural convencional em 3D para a molécula de etanol.

Como os alunos apresentaram dificuldades em representar a molécula, o professor apresentou (**Perceber**) um modelo físico (bola-vareta) para que os alunos pudessem visualizar (**Relacionar**) melhor a estrutura da molécula de etanol (Figura 4.3) e, nesse caso, terem um parâmetro de como desenhar a estrutura da molécula em **3D** (**Conceituar**).

Figura 4.3. Representação estrutural para a molécula de etanol com modelo físico bola-varetas (átomos de carbono são os mais escuros, átomos de hidrogênio são os mais claros e o átomo de oxigênio está representado em vermelho).

O professor fez com que os alunos tentassem desenhar a molécula de diferentes maneiras, indicando os diferentes ângulos. O uso do modelo molecular (Figura 4.3) permite um aumento da percepção sobre o objeto (objeto dinâmico), sobre a forma e o tamanho distinto dos modelos moleculares que representam os átomos e as ligações entre eles, bem como um aumento da percepção em relação à posição e à distância entre eles no espaço. Após introduzir, nesse episódio, atividades de conteúdos espaciais simbólicos, que conjugam habilidades de visualização e de estabelecer relações, o professor começou a discutir e a apresentar propriedades dos alcoóis, relacionadas a suas estruturas.

Este episódio [episódio 01 (06/08/09)] envolve relações entre o trabalho com ferramentas gráficas e ferramentas materiais. Neste caso, a ferramenta material (modelo físico de bola e varetas) serve de mediação para correlacionar estabelecer a relação entre as representações gráficas (diagramas, equações desenhadas no quadro ou apresentadas em diapositivos), com o objetivo de promover uma relação de identidade entre as ferramentas utilizadas. Como neste episódio o professor escolheu empregar diferentes ferramentas na associação de formas simbólicas representativas, considerou-se que houve uma escolha favorável aos processos de ensino e aprendizagem, pois diferentes situações foram criadas com a intenção de favorecer a compreensão através do uso de diferentes formas de representação.

Em relação à tríade pedagógica [Perceber – Relacionar – Conceituar], verificaram-se, nos episódios, diferentes situações que favorecem aumento na percepção e, por

consequente, o estabelecimento de uma inter-relação mais efetiva entre os fundamentos (*representamen*, objeto e interpretante) do signo, permitindo novas semioses. Por exemplo, no episódio 01, quando o professor solicita aos alunos que desenhem a estrutura do etanol, essa atividade é importante no sentido de ampliar a informação sobre a estrutura da molécula dessa substância (objeto) em um processo semiótico. Nesse episódio, foi possível verificar que trabalhar com os estudantes o uso de modelos moleculares (bola-vareta ou elaborados com materiais mais simples como palitos e bolas de isopor) ou até de modelos virtuais construídos por meio de ferramentas computacionais é fundamental para sua compreensão e elaboração conceitual.

Vários pesquisadores da área afirmam que experiências com a manipulação de modelos por parte dos estudantes parecem ser cruciais no desenvolvimento das habilidades visuo-espaciais e que a ocorrência desse desenvolvimento auxilia os estudantes na compreensão de problemas químicos que envolvem a representação de conceitos no nível submicroscópico, determinantes para a compreensão de uma série de propriedades e reatividade de compostos (WU; SHAH, 2004/ GILBERT, 2005/ SILVA; RIBEIRO, 2008/ RAUPP *et al.*, 2009). Esses autores concordam que a capacidade de visualização espacial em Química é um ponto fundamental, pois sua aprendizagem envolve habilidades visuo-espaciais que dão suporte para realizar determinadas operações cognitivas espacialmente, permitindo a transformação de representações bidimensionais em tridimensionais, usando informações explícitas para estabelecer as devidas relações visuo-espaciais.

Por outro lado, há estudos (como os de FERK; BLEJEC; GRIL, 2003/ McFIE, 1973/ WITKIN, 1969) que afirmam o contrário, ou seja, sugerem que a habilidade espacial não pode ser ensinada, sendo inata e que, portanto, nesse caso, esses sujeitos só conseguem realizar atividades que envolvam habilidades visuo-espaciais com o auxílio de ferramentas (modelos moleculares, modelos virtuais, por exemplo), embora é claro que possam compreender os conceitos químicos associados à espacialidade, desde que lhes seja facultada a manipulação dos modelos adequados.

À luz da Teoria da Percepção, na perspectiva da Semiótica Peirceana, poder-se-ia afirmar que o uso dessas ferramentas proporciona um aumento da percepção sobre o objeto (objeto dinâmico) e, dessa maneira, o fenômeno é apreendido, percebido (objeto imediato), transformando-se em um mundo mental, psicológico, e sendo transportado para uma realidade refletida; assim, fica demonstrada sua característica eminentemente simbólica ou, nos termos de Peirce, *semiótica*. A visualização científica pode ser considerada um processo semiótico, pelo fato de envolver

interpretações de signos (processo de semiose), seja de imagens, objetos, ícones, palavras ou sons, dentre outros.

✓ **Episódio 02 (11/08/2009):** o tema desenvolvido nessa aula foi *Reatividade e Estrutura de Álcoois*. O professor inicia a aula por meio da apresentação de modelos tridimensionais de diferentes álcoois [Perceber] utilizando uma ferramenta computacional (Programa Cheme®). O professor desenvolve a aula no sentido dos alunos preverem algumas propriedades [Relacionar] dos álcoois, abalizados na estrutura dos mesmos [Conceituar]. Nesse episódio, o professor escolheu trabalhar com uma ferramenta (modelos virtuais) que permite criar diferentes situações, como simulações de estruturas de moléculas no espaço, para associação de formas simbólicas representativas. Essa escolha pode ser vista como facilitadora dos processos de ensino/aprendizagem, pois favorece uma ampliação da percepção das possíveis relações entre estrutura e propriedades físicas (polaridade, solubilidade, densidade eletrônica, ângulo de ligação, impedimento estérico, por exemplo).

Como o professor optou por trabalhar com imagens virtuais de moléculas e correlacioná-las com as propriedades físicas das substâncias, considerou-se que foi realizada atividade cognitiva em relação às representações semióticas, ou seja, no que se refere à formação das representações. Os alunos tiveram que perceber e relacionar as estruturas apresentadas às propriedades observáveis das substâncias. Atualmente, os sistemas de modelagem molecular estão munidos de recursos para construção, visualização, análise e armazenamento de sistemas com recursos imagéticos complexos, que auxiliam na interpretação das relações estrutura-atividade. A modelagem molecular e suas representações gráficas permitem explorar aspectos tridimensionais dos entes químicos (objetos dinâmicos) que podem permitir a ampliação da percepção sobre os fenômenos, permitindo que estudantes com baixa habilidade visuo-espacial consigam perceber, relacionar e conceituar, ou seja, realizar semioses sobre os entes químicos.

Nesse episódio, verificou-se que o professor apresentou recursos imagéticos (modelos moleculares tridimensionais na tela do projetor) embora os alunos não tivessem oportunidade de manipular os modelos virtuais. Pode-se supor que a aprendizagem [Conceituar] de determinado conceito da Química só ocorra caso sejam estabelecidas, por parte do aluno, relações entre todos os signos envolvidos na representação de um fenômeno e da relação desses com o próprio referente em si. Considerada essa hipótese, torna-se fundamental que sejam dadas oportunidades aos estudantes de perceber, relacionar, ou seja, de manipular, os recursos imagéticos

(ferramentas de visualização espacial) para que consigam fazer as devidas relações entre estrutura e propriedades de compostos químicos. Por isso, ensinar apenas uma das formas de representação simbólica, como a teoria, de forma individual, separando-a de outros sistemas de representação, como geralmente é praticado, não caracteriza um ensino que promova processos de semiose, ou seja, a construção de signos genuínos, em que haja uma relação entre signo, objeto e interpretante, ou seja, a tríade pedagógica Perceber – Relacionar – Conceituar. Diferentes signos podem representar um mesmo ente químico, uma situação ou um fenômeno de diferentes maneiras. Porém, essa diferenciação só se torna mais explícita ao serem comparadas diferentes imagens (signos) de um mesmo objeto.

✓ **Episódio 03 (13/08/2009):** o tema desenvolvido nessa aula foi *Ácido dos Álcoois*. A aula se desenvolveu no sentido de que os alunos identificassem, na estrutura de álcoois, características que permitissem a formação de “bons grupos de saída” e fatores que estabilizam os carbocátions. Foi desenvolvida a questão de substituição em álcoois e a questão da inversão estereoquímica.

O episódio 03 envolve o trabalho com ferramentas gráficas (representação dos mecanismos de reações de álcoois) utilizando-se o quadro e giz com diferentes cores. O evento é todo de natureza explicativa e os tópicos que foram utilizados nesse episódio foram várias técnicas de representação (**TR**⁴; estruturas na forma de linhas, na forma condensada e na forma de traços). Também, nesse episódio, o professor fez relações entre as estruturas e características (**CE**) dos compostos.

A estratégia de comunicação utilizada pelo professor foi a apresentação do diagrama (mecanismo de reação) explicitado através da equação química que representa a reação de dissociação de um álcool em solução aquosa, como apresentado na Figura 4.4, cuja racionalização poderia ser associada à interpretação da Tabela 4.1, o que conferiria algum significado tanto ao conceito de pKa como ao conceito de estabilidade relativa dos íons alcóxidos, associando-os à estrutura molecular e, portanto, à reatividade dos compostos. Por exemplo, o etanol sofre ionização em solução aquosa? E o metanol? Por quê? Essa transparência onde o mecanismo é apresentado de forma generalizada, sem haver problematização, provavelmente é responsável pelo que se observa, posteriormente, nas respostas dos alunos, que se referem a suas dificuldades em compreender os mecanismos de reação, como se os interpreta e para que servem.

⁴ Eventos explicativos (**EE**), Eventos organizativos (**EO**); Técnica de representação (**TR**), Habilidade espacial (**HE**), Estrutura e atividade (**EA**), Característica estrutural (**CE**); Gráfica (**GR**), Gestual (**GE**), material (**MA**).

Figura 4.4. Representação para a desidratação de um álcool em solução ácida.

Na Figura 4.5, o professor apresenta a estrutura molecular do etanol para discutir a questão da desidratação dos álcoois.

Figura 4.5. Representação para o mecanismo de reação de desidratação para o etanol.

Tabela 4.1. Acidez de alguns álcoois e suas características.

Álcool	pK _a	Característica
(CH ₃) ₃ COH	18,00	Fraco
CH ₃ CH ₂ OH	16,00	
HOH (Água)	15,74	
CH ₃ OH	15,54	
CF ₃ CH ₂ OH	12,43	Médio
Fenol	9,89	Forte

O efeito da substituição de grupos alquílicos na magnitude da acidez dos álcoois está diretamente relacionado, principalmente, aos efeitos causados pelo tamanho dos substituintes vizinhos ao grupo **OH**, que irão influir na solvatação do íon alcóxido formado, afetando sua estabilização (Figura 4.6). O efeito indutivo e sua relação com a acidez de álcoois foi apresentado como mostrado na Figura 4.7.

Nesse episódio e nos episódios 04 e 05 o professor continua usando **TR** e **CE**, agora também se fazendo necessário o uso de **HE**.

Figura 4.6. Representação usual 3D para o íon alcóxido.

4.7. Representação usual 3D para duas moléculas.

Por essas descrições percebe-se que, *nos episódios 03 a 05*, o professor desenvolve, com os alunos, diferentes atividades cognitivas, por meio de diferentes representações gráficas. Identificam-se questões relativas à formação de representações, ou seja, os alunos devem construir estruturas de moléculas, bem como relacionar a estrutura com características do composto. Os alunos, também, são desafiados a construírem diagramas de estruturas dos álcoois em diferentes formas estruturais (condensada, traços, espacial, por exemplo). Essa atividade é importante no sentido de ampliar a informação e a percepção sobre a estrutura da molécula de etanol. No caso desses episódios, a conversão de dados de uma tabela (Tabela 4.1, p.129), isto é, a conversão de um diagrama para um enunciado, ou seja, diferentes modos de interpretação da estrutura permite, de acordo com a Semiótica, diminuir o grau de iconicidade de uma ilustração e, portanto, maior deverá ser a percepção, por

parte do observador, do código simbólico utilizado. Considera-se que, nesta atividade, o professor, em relação à tríade pedagógica [Perceber – Relacionar – Conceituar], proporcionou, durante a aula, diferentes situações que favorecem aumento na percepção e, por conseguinte, o estabelecimento de uma inter-relação mais efetiva entre os fundamentos (*representamen*, objeto e interpretante) do signo, permitindo a realização de novas semioses e, conseqüentemente, a geração de novos signos interpretantes.

✓ **Episódios 06 (25/08/2009) e 07 (27/08/2009):** os temas que foram abordados nessas aulas foram *Reações de Substituição Nucleofílica* e *Reações de Éteres*. A aula 06 foi toda desenvolvida por meio de apresentações no quadro (giz de diferentes cores) enquanto, na aula 07, empregou-se uma ferramenta computacional (diapositivo). O professor inicia a aula fazendo uma breve revisão de reações de substituição nucleofílica (SN1 e SN2), enfatizando os fatores que atuam para a estabilização do carbocátion. Nesse episódio, o professor escolheu utilizar apenas uma ferramenta (**GR**), na associação de diferentes modos representacionais. Considera-se essa estratégia uma escolha favorável aos processos de ensino/aprendizagem, visto que essa ferramenta gráfica permite criar diferentes situações, como simulações de estruturas de moléculas no plano usando a representação na forma de linhas, com a intenção de favorecer a compreensão da relação entre a estrutura e a reatividade dos compostos. No episódio 07, o professor faz uso de ferramentas computacionais em que apresenta estruturas de moléculas em 3D para que os alunos visualizem, na estrutura proposta para a molécula, quais deveriam ser as regiões mais prováveis para um ataque nucleofílico, sugerindo se a reação preferencial deveria acontecer via mecanismo SN1 ou SN2.

Identificam-se, nesses dois episódios, questões relativas à ampliação da percepção sobre estruturas propostas para as moléculas, bem como de relacionar a estrutura com as características do composto e, nesse caso, com a reatividade, propondo um possível mecanismo de reação para o composto. Os alunos foram desafiados a representar as estruturas de éteres em diferentes formas estruturais (condensada, traços e de linhas). Essa atividade mostra-se de grande importância, devido a suas possibilidades de ampliar a informação e, conseqüentemente, a percepção sobre a estrutura da molécula de um éter (objeto dinâmico) usando diferentes modos representacionais (Figura 4.8).

Em síntese, o uso de diferentes modos representacionais para um mesmo composto (ente químico) se caracteriza como um salto representativo na percepção do

ente químico em estudo. O sujeito poderá inferir novas propriedades gradativamente ao variar de um modo representacional para outro (permite varias semioses; Figura 4.8).

Figura 4.8. Diferentes modelos de representação para a estrutura da molécula de éter.

✓ **Episódios 08 (01/09/2009), 09 (03/09/2009) e 10 (08/09/2009):** nesses três episódios, o professor aborda conceitos e conteúdos relacionados a *Aldeídos e Cetonas*. O evento é todo de natureza explicativa (**EE**⁵), iniciando-se pela explicação das características, ângulo de ligação, estruturas planas, estruturas de ressonância, mecanismos de reações de aldeídos e cetonas e adição nucleofílica à ligação carbono-oxigênio (C=O). O professor fez uso de diferentes tópicos (Tabela 3.2, p. 108) no desenvolvimento do conteúdo, como **TR**, **EA** e **CE**. Também fez uso de diferentes ferramentas, como **MA** e **GR** usando tanto a lousa e ferramenta computacional.

Figura 4.9. Representação do ângulo da ligação entre a carbonila e os diferentes grupos R.

Nesse episódio, os alunos executaram atividades de conteúdo espacial simbólico em que se apresentam possibilidades de conjugar habilidades de visualização e de relação, como mostrado na Figura 4.10, em que se mostram as características estruturais que seriam responsáveis pelo comportamento diferenciado dos **H** vizinhos à carbonila. Nas representações, se explicita a estabilização do ânion formado pela dispersão da carga negativa devida à possibilidade de se escreverem estruturas de

⁵ Eventos explicativos (**EE**), Eventos organizativos (**EO**); Técnica de representação (**TR**), Habilidade espacial (**HE**), Estrutura e atividade (**EA**), Característica estrutural (**CE**); Gráfica (**GR**), Gestual (**GE**), material (**MA**).

ressonância. Essa possibilidade indica que as propriedades da molécula são mais bem visualizadas se a imaginarmos como um misto dessas duas estruturas.

Figura 4.10. Característica dos compostos carbonílicos é a acidez dos hidrogênios α à carbonila.

Figura 4.11. Representação do mecanismo de racemização de cetonas e aldeídos contendo um centro quiral α -carbonílico.

Figura 4.12. Representação gráfica do potencial de energia de hidratação de aldeídos e cetonas (retirada de SOLOMONS; FRYHLE, 2005).

Nesses episódios, o professor permite aos estudantes experienciarem o contato com diferentes modos representacionais para um mesmo ente químico, de modo a possibilitar uma eventual ampliação de seu processo perceptivo sobre os mesmos, como apresentado nas Figuras 4.10 a 4.12. Porém, embora tratem da formação e interpretação dos modos representacionais, a conversão entre um modo representacional e outro não foi adequadamente enfatizada pelo professor.

Segundo a Teoria da Percepção, essa ênfase poderia auxiliar os estudantes no processo de compreensão e no domínio mais coerente da linguagem sígnica. De fato, na Química, a conversão se manifesta na tradução, na ilustração, na codificação e na transposição entre os diferentes modos representacionais que constituem a linguagem dessa ciência e são utilizados para expor seus modelos conceituais (NUNES; RAMALHO; PEREIRA, 2011). Nesses episódios, a conversão entre diferentes modos representacionais ocorre, por exemplo, na mudança de um modo de representação gráfico para um não-gráfico (a construção e a interpretação de gráficos se revelam uma competência básica no campo representacional dos processos e fenômenos químicos, pois são procedimentos associados a *perceber*, *relacionar* e *conceituar*, ou seja, envolvem interpretação da informação). Também, na mudança de representações bidimensionais (**2D**) para tridimensionais (**3D**) houve necessidade de ampliação da percepção. Nesse processo, as habilidades visuo-espaciais foram

fundamentais para a compreensão e interpretação das propriedades, reatividades e mecanismos de reação de aldeídos e cetonas.

Os episódios 11, 12 e 13 não serão descritos por se tratarem de atividades relacionadas à realização da primeira prova escrita para a disciplina.

✓ **Episódios 14 (17/09/2009), 15 (22/09/2009), 16 (24/09/2009) e 17 (06/10/2009):** como nesses quatro episódios o professor abordou o mesmo conteúdo (*Reações de Aldeídos e Cetonas*), os eventos foram todos explicativos (**EE**)⁶, as ferramentas foram somente gráficas (**GR**) com pequena mudança de tópicos, variando técnicas de representação (**TR**) com estrutura e atividade (**EA**) e de características estruturais (**CE**); nesse caso, os episódios serão discutidos conjuntamente.

Nesses episódios, a ênfase do professor se dava sobre os mecanismos de reações de aldeídos e cetonas. Mecanismos de reações são diagramas (modelos) de como se processam determinadas transformações químicas. Tais diagramas são signos que tem a função de representar o fenômeno (transformação química), isto é, os mecanismos de reações de aldeídos e cetonas, resultando o interpretante, o qual corresponde a um processo racional que se cria na mente do intérprete (aluno). Na concepção peirceana, o signo desempenha um papel de mediação entre o objeto e o interpretante. Tem-se que considerar que os diagramas (mecanismos de transformações químicas), não são reais, são representações de possíveis modelos de transformações químicas, de fenômenos que necessitam de um signo para torná-lo presente. Para a formação dessa representação, o professor desenvolve sistemas semióticos com os estudantes, para possibilitar a compreensão e interpretação das transformações que ocorrem com aldeídos e cetonas.

Figura 4.13. Representação do mecanismo da reação de Wittig.

⁶ Eventos explicativos (**EE**), Eventos organizativos (**EO**); Técnica de representação (**TR**), Habilidade espacial (**HE**), Estrutura e atividade (**EA**), Característica estrutural (**CE**); Gráfica (**GR**), Gestual (**GE**), material (**MA**).

Analisando-se o esquema apresentado na Figura 4.13, é possível observar que, nesse diagrama (representação do mecanismo de uma transformação química), faz-se uso de uma grande variedade de signos que devem ser percebidos, codificados e interpretados pelos estudantes. A informação, a compreensão e a interpretação vão depender de como serão decodificados os diferentes símbolos gráficos aqui representados: as moléculas, os eletrófilos, os nucleófilos, as letras, as setas que indicam as transformações ocorridas nas moléculas e as setas que indicam o ataque do nucleófilo e/ou quebra e formação de novas ligações, o sinal de adição (+) que pode representar uma adição e/ou uma carga positiva. O professor tem que levar em consideração que se apoia nesse nível de representação para construir seu discurso pedagógico e não apenas apresentar os diferentes mecanismos de reações para aldeídos e cetonas. Em relação à tríade pedagógica [Perceber – Relacionar – Conceituar], verificaram-se diferentes situações que, se fossem melhor exploradas pelo professor, favoreceriam o estabelecimento de uma inter-relação mais efetiva entre os fundamentos (representamen, objeto e interpretante) do signo, permitindo a geração de novos interpretantes.

✓ **Episódios 18 (08/10/2009), 20 (20/10/2009), 21 (22/10/2009) e 22 (27/10/2009):** nesses quatro episódios, o professor abordou o conteúdo relacionado a *Ácidos Carboxílicos*, os eventos foram todos explicativos (**EE**), as ferramentas foram somente **GR**⁷ com pequena mudança dos tópicos enfatizados (Tabela 3.2, p.108), alternando **TR** com **EA** e **CE**. Todas as aulas foram desenvolvidas usando ora diapositivos e ora a lousa, ou os dois ao mesmo tempo. O desenvolvimento do conteúdo foi muito semelhante ao de aldeídos e cetonas, ou seja, muita ênfase aos mecanismos das reações, sem se considerarem os diferentes símbolos envolvidos nos processos de representação, identificação e compreensão dos entes químicos. Para ensinar conceitos, propriedades, estruturas e relações advindas dos desses entes, é preciso enfatizar os diferentes modos representacionais associados a eles. O que se estuda e se ensina são as representações dos entes químicos e não eles próprios, como se pode perceber pela análise das representações apresentadas nas Figuras 4.14 e 4.15, reproduzidas do material instrucional empregado pelo professor em aula.

⁷ Eventos explicativos (**EE**), Eventos organizativos (**EO**); Técnica de representação (**TR**), Habilidade espacial (**HE**), Estrutura e atividade (**EA**), Característica estrutural (**CE**); Gráfica (**GR**), Gestual (**GE**), material (**MA**).

Figura 4.14. Representação do mecanismo de substituição nucleofílica no grupo acila.

Figura 4.15. Representação do mecanismo de síntese de aminas.

Na estratégia de comunicação utilizada pelo professor na apresentação do mecanismo de substituição nucleofílica, estão envolvidos conceitos de nucleófilo, eletrófilo, grupo abandonador, equilíbrios químicos, estereoquímica, intermediário de reação, por exemplo. Pode-se considerar que as representações através de signos variados (códigos, tabelas, gráficos, algoritmos e desenhos) são bastante significativas, pois permitem a comunicação entre os sujeitos e as atividades cognitivas do pensamento, através da construção de diferentes representações para um mesmo ente químico. A variação de cores nos diferentes grupos, as diferentes setas, a indicação da posição dos grupos são exemplos de como alguns signos atuam no processo de compreensão e interpretação de estrutura e equações químicas e podem auxiliar nos processos perceptivos das reações químicas.

Acredita-se que com as diferentes estratégias de comunicação utilizadas pelo professor poder-se-ia ter explorado com maior ênfase a tríade pedagógica do perceber – relacionar e conceituar. Por exemplo, o professor poderia chamar a atenção para as diferenças entre as setas. Na linguagem química, as setas com tamanhos e formas diferentes carregam informações diferentes. Outro exemplo seria o sinal de + que poder informar uma adição ou uma carga positiva.

✓ **Episódios 24 (03/11/2009), 25 (05/11/2009) e 27 (13/11/2009):** nesses três episódios, o professor abordou as características, propriedades e reações de aminas. Os eventos foram todos explicativos, realizados por meio de ferramentas gráficas e materiais em que os tópicos foram quase que exclusivamente sobre **TR**⁸ e de **EA**. Verifica-se maior ênfase do professor nas questões que envolvem mecanismo de reações com aminas, em que fazia uma série de relações entre a estrutura e a reatividade das aminas. Do ponto de vista semiótico, considera-se que essa abordagem é mais favorável aos processos de ensino/aprendizagem, pois facilita que os estudantes realizem a tríade pedagógica [Perceber – Relacionar – Conceituar], estabelecendo relações entre os conceitos químicos, as características do composto representado e as técnicas de representação.

O desenvolvimento dos episódios se deu de forma muito semelhante ao desenvolvimento dos episódios em que foi abordado o conteúdo de aldeídos e cetonas. A questão mais exigida dos alunos foi a conversão entre diferentes modos representacionais de estruturas para um mesmo ente químico. Os estudantes deviam ser capazes de realizar manipulação mental de imagens, identificando relações espaço-visuais.

✓ **Episódios 28 (17/11/2009) e 29 (24/11/2009):** a apresentação de estruturas sobre a lousa com desenhos de diagramas ou por meio de diapositivos ou de modelos moleculares (físicos) constituíram-se nas estratégias que mediarão a ação na aula para dar “presença” ao ente químico, a partir da qual os estudantes puderam perceber novas qualidades e funções no conceito. Nesses dois episódios, o professor abordou o conteúdo de reações de compostos heterocíclicos aromáticos. Episódios muito semelhantes aos episódios relacionados a aldeídos/cetonas, ácidos carboxílicos e aminas. É possível identificar que, nos eventos explicativos do professor, há uma combinação entre linguagem oral e elementos da linguagem gráfica e da linguagem formal química com aqueles da linguagem gestual, em que ele atua no sentido de demonstrar determinados aspectos de fenômenos do mundo físico por meio de ações com modelos materiais, com a finalidade de elaborar um discurso coerente. Essa mescla de linguagens busca favorecer que os estudantes percebam, relacionem e interpretem o fenômeno de acordo com os significados científicos. Pode-se, então, deduzir que as representações se estabelecem como um ente racional sobre o mundo real, ou seja, as substâncias e as reações químicas são pensadas e configuradas em um espaço metafórico. As substâncias e as transformações químicas têm um

⁸ Eventos explicativos (**EE**), Eventos organizativos (**EO**); Técnica de representação (**TR**), Habilidade espacial (**HE**), Estrutura e atividade (**EA**), Característica estrutural (**CE**); Gráfica (**GR**), Gestual (**GE**), material (**MA**).

substituto racional, as fórmulas estruturais. O caminho da substância a um substituto racional tem início nas fórmulas químicas de composição, empíricas e moleculares. As fórmulas químicas foram desenvolvidas como verdadeiras organizações estruturais de natureza pictográfica que permitem pensar, inferir, realizar previsões sobre o fenômeno químico, mas que são construídas a partir de evidências empíricas.

O mapa de eventos a seguir (Quadro 4.2) foi organizado a partir da observação sistemática da disciplina de **QCOI** durante o semestre de 2010/1, considerados os mesmos critérios já discutidos anteriormente.

n.	Data	Detalhamento dos conteúdos abordados	Natureza do evento	Tópicos	Ferramentas
1	06/04/2010	O tema desenvolvido nesta aula foram as reações de formação de radicais livres. O professor fez desenhos no quadro e usou os modelos de bolas e varetas.	EE	EA	GR MA
2	08/04/2010	O professor iniciou a aula realizando uma revisão sobre os alcanos. Iniciou o estudo de análise conformacional e estereoisômeros. O professor fez desenhos no quadro e usou modelos de bolas e varetas.	EE	EA	GR MA
3	13/04/2010	Características e propriedades dos alcenos. O professor representou diagramas no quadro e usou os modelos de bolas e varetas.	EE	EA	GR MA
4	15/04/2010	Reações de alcenos. Exemplos na lousa apenas com estrutura na forma de esqueleto. Uso de modelos moleculares.	EE	TR EA	GR MA
5	20/04/2010	Continuação de reações com alcenos. Nesta aula o professor fez apresentações de filmes em diapositivo mostrando mecanismos de reações.	EE	EA	GR
6	22/04/2010	Reação de alcenos com Cl_2 , Br_2 e H_2 . Formação de diol na posição <i>anti</i> e <i>sin</i> . O professor dá muita ênfase aos mecanismos de reações sempre utilizando a representação estrutural na forma de esqueleto.	EE	EA	GR
7	27/04/2010	Formação do diol Anti e Sin. Apresentação de mecanismos de reações de alcenos por meio de ferramenta computacional (filmes em diapositivos e projeção na tela) e de modelos moleculares.	EE	TR EA	GR MA
8	29/04/2010	Mecanismos de reações de alcenos e a formação do produto principal. Apresentação na lousa usando giz de cores diferentes.	EE	TR EA	GR
9	04/05/2010	Aula de resolução de exercícios.	EE	EA	GR
10	06/05/2010	Revisão dos conteúdos para a prova 01.	EE	EA	GR

a) Eventos explicativos (EE), Eventos organizativos (EO); **b)** Técnica de representação (TR), Habilidade espacial (HE), Estrutura e atividade (EA), Característica estrutural (CE); **c)** Gráfica (GR), Gestual (GE), material (MA).

(Continuação do Quadro 4.2)

n.	Data	Detalhamento dos conteúdos abordados	Natureza do evento	Tópicos	Ferramentas
11	11/05/2010	Prova 01 – realizada sem o uso de qualquer ferramenta de visualização.	-	-	-
12	13/05/2010	Reações de adição a dupla ligação C=C com formação de produto anti Markovnikov. Destaque para mecanismos radiculares. Nesta aula o professor fez uso do quadro. Também foi realizada uma dinâmica com todos os alunos para demonstrar o mecanismo de transformação do etileno	EE	EA	GR GE
13	18/05/2010	Apresentação dos mecanismos de quebra da ligação C=C (ozonólise). Fez uso do diapositivo e do quadro.	EE	TR EA	GR
14	20/05/2010	Esterioquímica e análise conformacional. Usou o quadro e modelos moleculares para mostrar o objeto e sua imagem no plano.	EE	TR EA	GR MA
15	25/05/2010	Moléculas quirais e aquirais. O professor primeiramente utilizou modelos moleculares e depois fez as representações no plano (lousa).	EE	EA	GR
16	27/05/2010	Apresentação e discussão sobre a Lei de Fischer.	EE	EA CE	GR
17	01/06/2010	Análise conformacional, projeção de Newman, Fischer, tensão de torção. Aula toda com representações de estruturas no quadro.	EE	EA	GR
18	08/06/2010	Reações de substituição de haletos de alquila. O professor fez uso do diapositivo, modelos moleculares e do quadro.	EE	EA	GR MA
19	10/06/2010	Solventes próticos e apróticos nas reações SN ₁ e SN ₂ .	EE	EA	GR MA
20	17/06/2010	Reações de eliminação. As estruturas e os diagramas foram apresentados na lousa e o professor usava giz de diferentes cores para destacar etapas importantes no mecanismo de reação.	EE	TR EA	GR
21	22/06/2010	Prova 02 - realizada sem o uso de qualquer ferramenta de visualização.	-	-	-
22	06/07/2010	Reações de dienos. Apresentação de mecanismos de reações de dienos.	EE	EA	GR
23	13/07/2010	Reações com benzeno.	EE	TR EA	GR
24	15/07/2010	Grupos ativantes e grupos desativantes em anéis aromáticos. O professor demonstrou na lousa as propriedades destes grupos.	EE	EA	GR
25	20/07/2010	Resolução de exercícios.	-	-	-
26	22/07/2010	Revisão dos tópicos para a prova 03.	EE	TR EA	MA
27	24/07/2010	Revisão dos tópicos para a prova 03.			

a) Eventos explicativos (EE), Eventos organizativos (EO); b) Técnica de representação (TR), Habilidade espacial (HE), Estrutura e atividade (EA), Característica estrutural (CE); c) Gráfica (GR), Gestual (GE), material (MA).

(Continuação do Quadro 4.2)

28	26/07/2010	Prova 03 - realizada sem o uso de qualquer ferramenta de visualização.	-	-	-
29	28/07/201	Correção e discussão sobre as questões da prova.	-	-	-
30	30/07/2010	Encerramento da disciplina.			

a) Eventos explicativos (EE), Eventos organizativos (EO); b) Técnica de representação (TR), Habilidade espacial (HE), Estrutura e atividade (EA), Característica estrutural (CE); c) Gráfica (GR), Gestual (GE), material (MA).

Quadro 4.2. Mapas de eventos para a disciplina QCOI (2010.1).

O acompanhamento das 60 horas/aula da disciplina de **QCOI** foi uma etapa importante na realização desse trabalho, em que se procurou identificar o conteúdo, a forma, as ferramentas e, principalmente, os signos gráficos e não gráficos usados no processo representativo durante as aulas. Tal acompanhamento forneceu informações sobre os fatores que determinam o uso de diferentes modos representacionais durante as aulas e permitiu identificar dificuldades dos estudantes frente aos processos de ensino e em alguns aspectos concernentes à sua aprendizagem, em que é necessário trabalhar com signos (índices, ícones e símbolos). Todos os modos representacionais com os quais se ensina Química são informações que se apresentam aos estudantes, pois toda e qualquer forma de representação vem carregada de significados. Cada docente de Química seleciona parte de uma informação erudita e explica falando, desenhando, fazendo esquemas, apresentando fórmulas, por exemplo. Os professores recorrem a uma vasta variedade de recursos didáticos e/ou semióticos para suas explicações (GALAGOVSKY; BEKERMAN, 2009) e isso significa que sua intenção é mostrar *“traduções e conversões entre linguagens simbólicas”*.

O professor iniciou a disciplina abordando conteúdos relacionados aos temas de orbitais atômicos e orbitais moleculares; hibridização: orbitais sp^3 , sp^2 e sp ; ligações covalentes polares: eletronegatividade, momento de dipolo, carga parcial, carga formal; estruturas de ressonância; ácidos e bases em Química Orgânica e definições de Brønsted-Lowry e de Lewis. Analisando-se o desenvolvimento da disciplina de **QCOI** foi possível realizar as seguintes considerações em relação aos conteúdos abordados, a natureza do evento, as ferramentas e aos tópicos.

- ✓ *Em relação ao detalhamento dos conteúdos abordados:* os conteúdos foram abordados de acordo com a ordem estabelecida no livro-texto de referência e no programa da disciplina, sendo que o professor dá início ao curso com o estudo dos alcanos. Tal fato deveu-se à questão da realização de um curso de verão de “pré-orgânica,” em que alguns conceitos já haviam sido abordados e, portanto,

não havia necessidade de se “perder tempo”⁹ abordando-os novamente. Nas aulas, o professor procurava dar ênfase a aspectos que julgava serem mais relevantes no processo de ensino para os conceitos que estavam sendo abordados, como, por exemplo, a questão do grupo de funções, de suas propriedades e relações com a reatividade e o comportamento dos compostos frente a diferentes grupos ou espécies químicas.

- ✓ *Em relação à natureza do evento:* os eventos que predominaram em quase todas as aulas dessa disciplina foram classificados como **EE**¹⁰. Para cada aula, foi observada a abordagem de um tópico de conteúdo ou conceito diferente ou, em muitos casos, o mesmo conceito aplicado a compostos químicos diferentes. A cada aula, o professor apresentava uma situação ou um conceito, procurando estabelecer relações causais entre eles.
- ✓ *Em relação aos tópicos:* o tópico predominante foi o **TR** no qual o professor fez uso, em todas as aulas, de técnicas de representação. Também, foi possível observar o uso de **EA**, ou seja, muita discussão de características estruturais em função de uma ou mais propriedades observáveis. Atividades que procurassem desenvolver o uso de **HE**, envolvendo questões de rotação e translação foram poucas, quase inexistentes.
- ✓ *Em relação às ferramentas:* identificou-se quase que exclusivamente o uso da ferramenta **GR**, possivelmente devido a seu caráter mediador (ou seja, caráter simbólico) como, por exemplo, representações gráficas de estruturas moleculares na lousa, transparências ou filmes. Poucas vezes o professor fez uso de modelos físicos (tipo bola-vareta) para explicar propriedades dos compostos. Quando trazia os modelos físicos, os alunos apenas observavam os modelos já construídos pelo professor, não os manipulavam nem construíam as estruturas das moléculas. Em relação às ferramentas computacionais, o professor apenas citava e/ou demonstrava modelos virtuais em **3D** de moléculas. Os alunos não manipulavam tais programas e nem eram estimulados a usá-los.

A seguir, serão apresentados, com mais detalhes, os tópicos e as ferramentas utilizados nas aulas observadas (Quadro 4.2, p. 140-141) em alguns episódios que aconteceram durante seu desenvolvimento, para facilitar a compreensão de como se estabeleciam as relações durante as aulas, segundo a natureza do evento. Cada episódio corresponde à duração de duas horas/aula. E, em alguns casos, discutem-se

⁹ Fala do professor.

¹⁰ Eventos explicativos (**EE**), Eventos organizativos (**EO**); Técnica de representação (**TR**), Habilidade espacial (**HE**), Estrutura e atividade (**EA**), Característica estrutural (**CE**); Gráfica (**GR**), Gestual (**GE**), material (**MA**).

vários episódios ao mesmo tempo, por terem sido muito semelhantes em relação à abordagem utilizada pelo professor /ou os episódios serem uma seqüência de ações que se complementam ao final de uma série de episódios.

✓ **Episódio 01 (06/04/2010):** nessa aula, o tema abordado foram *Reações de Formação de Radicais Livres* por meio de desenhos de estruturas de moléculas e de mecanismos de reações na lousa e do uso de modelos moleculares físicos. O professor usou um modelo molecular previamente montado por ele (modelo físico de bolas e varetas) para representar a estrutura das moléculas. Em princípio, essa seria uma boa escolha por parte do professor, visto que tal estratégia de comunicação se constitui em importante recurso semiótico para o desenvolvimento de processos internos que conduzam à atribuição de novos significados aos entes químicos, ou seja, a geração de novos interpretantes relacionados a determinados aspectos da estrutura que não são perceptíveis no plano, ao se observar as representações planares (fórmulas estruturais planas). Esses modelos moleculares físicos, por apresentarem carácter mais icônico em relação ao ente que têm a pretensão de representar são, de certa forma, análogos ao modelo conceitual que representam e, portanto, tendem a facilitar o processo de associação. Aportam informações visuo-espaciais, oferecendo uma quantidade maior de dados que podem ser percebidos e, conseqüentemente, uma qualidade e quantidade maior de informações sobre o ente químico ou fenômeno observado, facilitando a realização da tríade pedagógica [Perceber-Relacionar-Conceituar]

✓ **Episódios 02 (08/04/2010):** nesse episódio, o professor iniciou o estudo de análise conformacional e estereoisômeros. As estratégias de comunicação utilizadas por ele foram desenhos de estruturas no quadro e o uso de modelos moleculares físicos (modelos de bolas e varetas). Considera-se que, ao usar tal ferramenta, o professor permite aos estudantes um importante recurso semiótico, no processo de semiose que envolve determinadas habilidades visuo-espaciais fundamentais no processo de compreensão da relação entre as propriedades e as estruturas de confôrmeros (Figura 4.17) ou de moléculas quirais. Como já discutido, a percepção, relação e interpretação desses significados exige que os alunos realizem a tríade pedagógica [Perceber, Relacionar e Conceituar] durante o processo de aprendizagem.

Figura 4.16. Representação usando Projeção de Newman para os diferentes confôrmeros do etano.

Figura 4.17. Representação da molécula de etano: na reprodução do modelo de bola/vareta (bolas escuras representam o átomo de carbono; bolas coloridas representam os átomos de hidrogênio); pela posição do observador verifica-se como desenhar a Projeção de Newman, que representa um dos confôrmeros do etano (ver Figura 4.16).

Analisando-se as Figuras 4.16 e 4.17, vê-se que, a partir de **A** (representação do modelo físico) chega-se à situação **B** fazendo rotação de um dos carbonos, de forma que os hidrogênios se afastem ao máximo entre si e fazendo um movimento de translação do modelo. Obtém-se um dos três confôrmeros possíveis (Figuras 4.16 e 4.18) do etano (o disperso). A Figura 4.17C é representação planar desse mesmo confôrmero, mostrando um carbono à frente do outro e enfatizando a posição relativa dos hidrogênios. Na Figura 4.18, associam-se as representações dos confôrmeros às diferenças de energias internas associadas a esses arranjos moleculares, que podem ser associadas a diferenças de propriedades físico-químicas. No caso do butano, por exemplo, em que as diferenças de energia entre os confôrmeros são mais significativas, é possível identificar e compreender as propriedades dos diferentes confôrmeros dessa substância, que são explicáveis através dessas possíveis

estruturas. Esses exemplos ilustram a relevância de se atribuírem as associações necessárias à compreensão das relações estrutura/propriedades para o adequado domínio da linguagem da Química e dos químicos.

O emprego do recurso semiótico materializado pelos modelos moleculares físicos (de bola e varetas) foi fundamental para o desenvolvimento desse conceito em Química, principalmente a questão da estabilidade da conformação discutido no episódio 17 (Figura 4.18).

Figura 4.18. Representação na forma de um diagrama a relação entre os confôrmeros com a energia torsional.

Ressalta-se que o professor construiu dois modelos moleculares para a molécula de etano e solicitou que os estudantes visualizassem o modelo realizando as rotações e que desenhassem no caderno como eles imaginavam os grupos na molécula por meio da Projeção de Newman. Ao abordar o conceito de estereoisômeros, ou seja, de isômeros que diferem apenas no arranjo de seus átomos no espaço, o professor apresentou uma série de exemplos na lousa, o que permitiu a realização da tríade pedagógica na formação de novos interpretantes.

O uso de representações gráficas cartesianas é uma ferramenta importante no processo de interpretação e compreensão, pois permite a apresentação de uma grande quantidade de informações e de relações, permitindo a reordenação da informação. Os gráficos dão um formato visível às relações existentes representadas por grupo de dados inicialmente dispersos e desconexos. Nestes episódios **02** e **17**, o professor apenas apresentou e discutiu o gráfico com os estudantes (Figura 4.18).

✓ **Episódios 03 (13/04/2010) e 04 (15/04/2010):** nesses dois episódios, o professor procurou abordar as características, propriedades e as reações de alcenos. O professor desenhou diagramas de alcenos na lousa apenas com estrutura na forma de linhas. Novamente fez uso de modelos moleculares de bolas e varetas. Identificasse, nesse episódio, questões relativas à construção de uma estrutura molecular, ou seja, os alunos devem construir estruturas de moléculas, bem como relacionar a estrutura com as características do composto. Os alunos também são desafiados a usarem outros modos representacionais para o mesmo composto, como, por exemplo, a forma condensada, a forma de traços e, também, sua estrutura espacial. Essa atividade é importante no sentido de que eles percebam diferentes aspectos ou qualidades e, conseqüentemente, na geração de novos interpretantes que permitem ampliar a informação e a percepção sobre determinados aspectos da estrutura da molécula de alceno. No caso desses episódios, verificou-se que o professor abordou os tópicos de conteúdo por meio de representações gráficas e não gráficas.

✓ **Episódios 05 (15/04/2010), 06 (20/04/2010), 07 (22/04/2010), 08 (27/04/2010) e 09 (29/04/2010):** nessa seqüência de episódios, o professor procurou desenvolver uma série de conceitos relativos aos alcenos. Foram abordados conteúdos relativos à estabilidade relativa de alcenos, reações de adição eletrofílica a alcenos, preparação de alcenos (reações de eliminação e polimerização dos alcenos *via* radicais). Os eventos foram todos explicativos (EE)¹¹, as ferramentas foram GR com pequena mudança de tópicos, variando algumas TR com EA e CE. Todas as aulas foram desenvolvidas usando ora animações mostrando mecanismos de reações, ora a lousa, ou os dois ao mesmo tempo. O professor enfatizava os mecanismos de reações, ou seja, a identificação, por meio da estrutura do alceno e de seus grupos R, do mecanismo mais favorecido para determinados compostos. Para ensinar conceitos, propriedades, estruturas e relações advindas dos entes químicos, é preciso levar em consideração seus modos representacionais. O que se estuda e se ensina são os modos representacionais dos entes químicos e não os próprios entes químicos. Portanto, perceber determinadas qualidades nas estruturas representacionais é um fator importante para a realização da tríade pedagógica [Perceber, Relacionar e Conceituar].

✓ **Episódios 13 (13/05/2010) e 14 (18/05/2010):** o conteúdo abordado nesses dois episódios abrangeu reações de adição à dupla ligação $C=C$, com formação de produto anti-Markovnikov e a apresentação dos mecanismos de quebra da ligação $C=C$ (ozonólise). Fez-se uso de animações mostrando mecanismos de reações e da

¹¹ Eventos explicativos (EE), Eventos organizativos (EO); Técnica de representação (TR), Habilidade espacial (HE), Estrutura e atividade (EA), Característica estrutural (CE); Gráfica (GR), Gestual (GE), material (MA).

lousa. Também foi realizada uma dinâmica (**GE**) com todos os alunos para demonstrar o mecanismo de transformação do etileno em polietileno (todos os alunos de mãos dadas). Os episódios 13 e 14 envolveram o trabalho com **GE**¹² e **GR** (representação dos mecanismos de reações de adição à dupla **C=C**), com utilização do quadro e de giz de diferentes cores. O evento é todo de natureza explicativa e os tópicos que foram utilizados nesse episódio foram várias **TR** (estruturas na forma de linhas, condensadas e de traços). O professor também fez relações entre as estruturas e características (**CE**). O que mais chamou a atenção foi o fato dele se utilizar de uma ferramenta gestual (**GE**): o professor utiliza as mãos de vários alunos como um elemento (signo) da atividade representativa (semiose). São aquelas atividades gestuais que tomam lugar de um ente no circuito representativo da explicação do professor.

Partindo da forma de linguagem oral, para gestual e depois para a forma de diagramas (esquemas) parece razoável pensar que cada modo representacional pode representar distintas dimensões de conteúdo, exigir distintas quantidades e classes de atividade mental, provocando, por consequência, significados distintos e, nesse caso, também, aprendizagens distintas.

✓ **Episódios 15 (20/05/2010) e 16 (24/05/2010):**): os conteúdos abordados nesse episódio foram estereoquímica e moléculas quirais e aquirais. O professor, primeiramente, utilizou modelos moleculares (bola-varetas) e desenhou as estruturas no plano (lousa) para mostrar o modelo de estrutura para o composto e sua imagem no plano (Figura 4.19).

Figura 4.19. Representação da imagem de uma molécula quiral no espelho.

¹² Eventos explicativos (**EE**), Eventos organizativos (**EO**); Técnica de representação (**TR**), Habilidade espacial (**HE**), Estrutura e atividade (**EA**), Característica estrutural (**CE**); Gráfica (**GR**), Gestual (**GE**), material (**MA**).

Os episódios 15 e 16 envolvem relações entre o trabalho com ferramentas gráficas e ferramentas materiais. Neste caso, a ferramenta material (modelo físico de bola e varetas) serve de parâmetro para a relação entre as representações gráficas, com o objetivo de promover a relação de identidade entre ferramentas de diferente ordem. Como o professor escolheu trabalhar diferentes ferramentas na associação de modos representativos, considera-se que houve uma escolha favorável aos processos de ensino/aprendizagem, pois diferentes situações foram criadas com a intenção de favorecer a tríade pedagógica e, conseqüentemente, compreensão sobre as estruturas no processo de geração de novos interpretantes.

✓ **Episódios 17 (27/05/2010) e 18 (01/06/2010):** os conteúdos abordados nesses episódios foram eventos relativos à apresentação e discussão sobre a Lei de Fischer, análise conformacional, Projeções de Newman e Fischer e tensão de torção. Esses episódios foram desenvolvidos pelo professor por meio de diagramas estruturais no plano da lousa. Ele fez uso apenas de ferramentas gráficas (**GR**) e os conteúdos foram abordados com tópicos relativos ao ensino de características de compostos relacionados com sua estrutura (**CE**) e na discussão de características estruturais em função de uma propriedade da substância (**EA**). Nesses episódios, o professor retoma alguns conceitos abordados no episódio 02.

Há, no início destes episódios, o uso das projeções de Fischer para representar as moléculas. O professor fez uso apenas de ferramentas gráficas (desenho de estruturas **2D**). Poderia ter usado modelos físicos e/ou modelos virtuais, no sentido de proporcionar a geração de novos interpretantes por meio da tríade pedagógica que facilitaria perceber e relacionar determinados aspectos (qualidades) da estrutura, o que é dificultado (ou mesmo impossibilitado, para alguns indivíduos) pela estrutura em **2D**. A compreensão das propriedades e características dos compostos vai depender muito da capacidade do aluno de conseguir perceber determinadas características espaciais nas estrutura dos compostos, como é o caso da glucose (Figura 4.20).

Figura 4.20. Representação usando a Projeção de Fisher para as três formas diferentes da molécula da D-glucose.

A variação de cores nos diferentes grupos, como no carbono anomérico (amarelo) e no oxigênio do C⁵ (azul), indicando a posição dos grupos, são exemplos de como alguns sistemas semióticos atuam no processo de percepção e, conseqüentemente, levam a um melhor processo de compreensão e interpretação da estrutura e das reações químicas.

Para os alunos construírem a representação estrutural do etano eles deveriam, primeiro, partir de uma linguagem escrita (etano) para uma linguagem gráfica (CH₃CH₃). Segundo, após essa conversão (escrita → gráfica), poderiam construir a representação estrutural na Projeção de Newman. Nesse episódio, foi possível identificar muita dificuldade para compreensão dos conceitos envolvidos, principalmente em relacionar energia com a estabilidade do composto (*vide* Figura 4.3, p.125). O professor não usou de todos os recursos semióticos, como o modelo físico de bola e varetas e/ou os modelos virtuais para facilitar o processo de ensino e aprendizagem. A variação de cores (Figura 4.21) para indicar diferentes grupos foi fundamental nesse processo para determinado grupo de estudantes, ou seja, permite que os estudantes realizem a tríade pedagógica [perceber-relacionar-conceituar] na geração de novos interpretantes.

O uso de representações gráficas cartesianas é uma ferramenta importante no processo de interpretação e compreensão, pois permite a apresentação de uma grande quantidade de informações e relações que levam à reordenação da informação. Os gráficos dão um formato visível às relações existentes representadas por grupo de dados inicialmente dispersos e desconexos.

Figura 4.21. Representação do arranjo alternado dos substituintes na conformação cadeira.

Na Figura 4.21, é possível observar que essa representação gráfica faz uso de uma grande variedade de signos que devem ser percebidos, relacionados, codificados e interpretados pelos estudantes. A informação, a compreensão e a interpretação vão depender de como serão decodificados os diferentes símbolos gráficos aqui

representados. As moléculas, a posição dos hidrogênios indicados por diferentes cores. O professor tem que levar em consideração que se apoia nesse nível de representação para construir seu discurso pedagógico e não apenas apresentar os diagramas (estruturas) para determinadas moléculas, o que poderia dificultar a geração de novos interpretantes dinâmicos.

✓ **Episódio 19 (08/06/2010):** nesse episódio o professor abordou as reações de substituição em haletos de alquila. O evento foi de natureza explicativa (**EE**)¹³ e as ferramentas utilizadas foram **GR** lousa e retroprojektor e **MA**, por meio de modelos moleculares (bola e varetas). O tópico foi exclusivamente de **EA**, ou seja, a partir da representação da estrutura os alunos deveriam interpretar e compreender o mecanismo da reação.

Figura 4.22. Representação de um ataque nucleofílico a um haleto de alquila.

Figura 4.23. Representação de um ataque nucleofílico a um haleto de alquila.

As Figuras 4.22 e 4.23 demonstram os recursos semióticos utilizados pelo professor para propiciar a tríade pedagógica (perceber, relacionar e conceituar) no mecanismo de reação e reatividade de um composto (haleto de alquila). Tais ferramentas permitem aos estudantes perceber determinadas características (qualidades) que envolvem conteúdo espacial, como é o caso de estruturas **3D** e de

¹³ Eventos explicativos (**EE**), Eventos organizativos (**EO**); Técnica de representação (**TR**), Habilidade espacial (**HE**), Estrutura e atividade (**EA**), Característica estrutural (**CE**); Gráfica (**GR**), Gestual (**GE**), material (**MA**).

movimento de rotação e translação. Tanto a representação gráfica em forma de cunhas como o uso de modelos moleculares (bola e varetas) permite ao aluno a geração de novos interpretantes ao perceber determinadas qualidades do composto ou fenômeno em estudo.

✓ **Episódios 20 (10/06/2010), 21 (17/06/2010):** os conteúdos abordados nesses dois episódios foram reações SN1 (substituição nucleofílica monomolecular ou de 1ª ordem) SN2 (substituição nucleofílica bimolecular ou de 2ª ordem) e reações de eliminação. Como no episódio anterior, o professor fez uso de **GR**¹⁴ e de **MA**; os tópicos que fizeram parte desse episódio foram constituídos de **TR** e **EA**. Também foram necessárias algumas **HE**, pois procedimentos do tipo rotação, translação e deslocamento são fundamentais na interpretação e compreensão dos mecanismos de reação, reatividade e propriedades dos compostos. Por exemplo, na Figura 4.24 são necessárias habilidades visuo-espaciais para perceber, interpretar e compreender a representação gráfica da inversão da configuração na reação de substituição ou do uso de ferramentas que permitam a percepção de aspectos que envolvam conteúdo espacial como, por exemplo, de modelos virtuais.

Figura 4.24. Representação da estereoquímica de uma reação tipo SN2.

O professor também apresentou uma simulação virtual de um mecanismo de substituição SN2 como ferramenta para ampliar a informação e a interpretação do mecanismo. A apresentação foi mostrada usando ferramentas computacionais e utilizando um programa de simulação de reações de substituição SN1 e SN2 e de eliminação, programa de livre acesso¹⁵ na web.

O uso desse recurso foi uma boa escolha por parte do professor, pois, ao permitir que os estudantes utilizem uma estratégia de comunicação, nesse caso com animação, a percepção, a relação e a interpretação do fenômeno são auxiliadas pela visualização gráfica. Além disso, o foco de visualização do estudante pode ser

¹⁴ Eventos explicativos (**EE**), Eventos organizativos (**EO**); Técnica de representação (**TR**), Habilidade espacial (**HE**), Estrutura e atividade (**EA**), Característica estrutural (**CE**); Gráfica (**GR**), Gestual (**GE**), material (**MA**).

¹⁵ http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/sala_de_aula/mecanismos/anim_sn2.html

direcionado para as propriedades que se quer destacar e suas representações correspondentes como, por exemplo, o ataque do nucleófilo, a formação do intermediário da reação e o grupo de saída. As imagens geradas através de softwares específicos são '*carregadas*' de informações, como dados sobre o modelo estrutural e várias propriedades eletrônicas. Essas, por sua vez, podem ser combinadas para extrair novas informações químicas específicas sobre sistemas moleculares. Mas, não se pode esquecer que a apresentação de um modelo virtual e/ou sistema de signos carrega consigo uma descrição que sabemos ser aproximada e incompleta sobre o que o homem entende das partículas submicroscópicas (dimensão ontológica).

✓ **Episódios 23 (06/07/2010), 24 (13/07/2010) e 25 (15/07/2010):** nesses três episódios o professor abordou as reações de dienos, reações com benzeno e os grupos ativantes e desativantes em anéis aromáticos. Em todos os episódios, o professor fez uso de **GR**. Nesses episódios, por motivos de praticidade, o professor fez uso somente de representações simplificadas, com letras e números, como fórmulas estruturais na forma de linhas. Em relação a perceber determinadas qualidades sobre os objetos, essa não foi a melhor forma de abordagem desse conteúdo, devido ao fato de que há alguns programas virtuais que permitem visualizar no computador fenômenos e mecanismos de transformações químicas, que se têm mostrado mais efetivos no processo de aprendizagem (geração de novos interpretantes) do que o uso de imagens estáticas (ARDAC; AKAYGUN, 2004), pois permitem a visualização de aspectos espaciais e de processos dinâmicos. Há também, estudos que indicam a necessidade de uma demanda cognitiva diferente para uma representação estática e uma dinâmica (LOWE, 2003). A representação dinâmica pode oferecer um modelo mais completo para o estudante gerar uma semiose mais adequada e, portanto, estabelecer uma compreensão mais ampla do fenômeno dentro da tríade pedagógica [Perceber, Relacionar e Conceituar].

Hoffmann e Laszlo (1991) afirmam que erros conceituais e dificuldades apresentadas pelos estudantes na interpretação e conversão das representações químicas podem ser construtos conceituais que expressam conhecimento conceitual que requer habilidades visuo-espacial similares àquelas exigidas para a compreensão dos esquemas (diagramas) visuais (que envolvem habilidades de visualização espacial). Visualizar (no sentido de imaginar, perceber, relacionar) representações químicas requer a relação cognitiva entre componentes conceituais e componentes visuais que supõem a interpretação de determinadas representações.

Os modelos virtuais, os modelos moleculares (bolas-varetas) e os diagramas, são um conjunto de componentes simbólicos que permite o perceber e o relacionar entre

as qualidades e os fenômenos que têm a pretensão de representar, ou seja, permitem operar conceitualmente sobre um fenômeno, dispondo e operando apenas com sua representação (signos).

É necessário lembrar que, de acordo com a semiótica, os conceitos químicos remetem a objetos cujos significados se apoiam na realidade concreta (evidências) e, como os entes químicos são abstratos, os conceitos químicos, por sua vez, são obrigados a fazer uso de representações. Em outras palavras, a mediação (representação) tem que ser realizada por meio de signos que permitam perceber e relacionar determinados aspectos da estrutura que são fundamentais na elaboração conceitual. Quanto maior o número de modos representacionais (mediações) para o mesmo ente químico, maiores serão as possibilidades de compreensão do mesmo, pois maiores serão as possibilidades de geração de novos interpretantes. Quanto melhores forem os recursos imagéticos utilizados, quanto maior for a variação nas estratégias didáticas utilizadas durante o processo de ensino, maior será a possibilidade de percepção sobre os fenômenos em questão e, por conseguinte, também se poderá conduzir a uma maior cognição ou compreensão sobre o tema abordado.

4.2. Apresentação e análise sobre a aprendizagem de Química dos Compostos Orgânicos I e Química dos Compostos Orgânicos I

Nesta parte do trabalho, utilizaram-se as provas realizadas pelos estudantes durante o curso de **QCOI** e **QCOII** como fonte de informação sobre sua aprendizagem. O material de análise é constituído pelas provas realizadas pelos estudantes do curso de Licenciatura em Química da **UFS** (Universidade Federal de Sergipe) aplicadas no ano de 2009 e 2010. Três grupos de estudantes de **QCOI** e dois grupos de **QCOII** (Tabela 3.3) foram selecionados para esta análise.

O número de alunos de cada turma equivale ao número de alunos matriculados na disciplina, o que não quer dizer que é o mesmo número de alunos que realizaram todas as avaliações (provas escritas) propostas pelo professor durante o curso. Observou-se que, na primeira avaliação, há uma participação de 100% dos matriculados enquanto, na terceira avaliação, o número de estudantes que a realizam não chega a 40%. Portanto, não foi possível acompanhar um conjunto determinado de alunos durante todas as avaliações, visto que, após a segunda avaliação, aproximadamente 50% dos alunos abandonam ou trancam a matrícula na disciplina. Entretanto, esse aspecto não é determinante para o objetivo deste estudo, que não

era o de realizar um acompanhamento longitudinal (transversal) do processo de aprendizagem de cada estudante durante o curso de Química Orgânica.

O objetivo desta Tese é o *de identificar e descrever como os diferentes modos representacionais são utilizados pelos estudantes e pelos professores* visando discutir o poder de representação dos signos em seus contextos de estudo e como eles são mobilizados pelos estudantes na resolução de problemas que envolvem conteúdos representacionais.

Assim, em relação às provas, o que se busca, neste trabalho, é discutir a passagem conversão da imagem (diagrama/esquema, símbolo, por exemplo) em sua representação escrita (ou o processo inverso), para compreender como ocorre a transferência de conhecimento de um sistema para outro e como codificam a informação implícita dentro de cada sistema de representação. Pretende-se verificar o que se perde e o que se ganha nessa operação de transformação de um código em outro.

Na análise, optou-se por apresentar e discutir as respostas dos estudantes para cada questão isoladamente, buscando identificar as relações entre a percepção e a construção do conhecimento sobre o tema abordado, ou seja, sua conceituação na aceção da Semiótica Peirceana no processo de experienciar, relacionar e interpretar.

Prova 01 (09/09/2009) QCOI: realizada por 53 alunos do *Campus* Professor Aloísio de Campos (São Cristóvão- SE). Esta prova consta de 10 questões na qual serão consideradas para análise seis (06) questões.

Questão 01- *Desenhe as estruturas de Lewis para as substâncias a seguir e atribua as cargas formais: NO^{2+} , H_2NCH_3 , CO_3^{2-} . Alguma dessas estruturas apresenta ressonância? Em caso afirmativo, identifique a estrutura, desenhe as estruturas de Lewis equivalentes e a estrutura do híbrido de ressonância, com as cargas formais.*

A questão 01 solicita aos estudantes que desenhem a estrutura de Lewis e, quando houver, seus híbridos de ressonância. Os alunos deveriam, inicialmente, construir uma representação para os compostos, para só depois determinar as cargas formais e reconhecer, ou não, a possibilidade de híbridos de ressonância. Verifica-se que 50% dos estudantes não conseguiram construir uma representação adequada para os três compostos usando o modelo estrutural de Lewis. Nessa questão, 20% dos estudantes não fizeram qualquer tipo de representação, 10% acertaram em parte e apenas 20% representaram e responderam adequadamente a questão, como mostrado nos exemplos apresentados nas Figuras 4.25a e 4.25b e 4.26a e 4.26b.

Figura 4.25a. Padrão de repostas dos alunos que tiveram dificuldades em resolver a questão

Figura 4.25b. Padrão de repostas dos alunos que tiveram dificuldades em resolver a questão.

Figura 4.26a. Padrão de respostas dos alunos que resolveram adequadamente a questão

Figura 4.26b. Padrão de respostas dos alunos que resolveram adequadamente a questão.

Exceto em casos simples, caso de moléculas pequenas (neutras ou iônicas), envolvendo elementos representativos, constituídas por um átomo central e átomos periféricos, a estrutura de Lewis não representa a forma geometria (representação estrutural) das espécies. Mostra, geralmente, o padrão de ligação e os pares solitários de elétrons, ou seja, a topologia do elo da ligação e não a geometria da molécula. Como a estrutura de Lewis é, normalmente, uma descrição inadequada limitada da distribuição de cargas de uma molécula (ou outra espécie), essa deficiência da descrição de Lewis é minimizada introduzindo-se o conceito de ressonância. Esse modelo considera que a melhor representação estrutural da espécie seria a resultante da superposição de todas as estruturas de Lewis possíveis para um dado arranjo atômico. Portanto, uma estrutura de ressonância não tem existência real, não se trata da representação da estrutura de um intermediário de reação ou de uma das espécies presentes em um equilíbrio químico. Cada uma das estruturas deve ser entendida como um dos contribuintes de uma somatória de estruturas e, não, como uma alternância entre elas.

Os estudantes desenhavam partículas (elétrons) que trocam de átomos. Talvez, como diz Bachelard (1991), o real não é mais do que imaginação, ou seja, os fenômenos químicos apresentam um substituto racional. O obstáculo pode estar no peso que a representação realista representa para esses estudantes, dificultando que aceitem a idéia de que o elétron pode não se associar a uma partícula única (átomo) mesmo que percebam as representações das estruturas como modelo para se pensar sobre as propriedades dos sistemas químicos, em nível molecular ou macroscópico.

Como apresentam dificuldade em perceber determinadas características nos compostos, tanto em nível molecular como macroscópico, como apresentam dificuldades na construção de outro código ou modo representacional, não conseguem fazer as devidas relações e, desse modo, não conseguem conceituar, ou seja, geração de novos interpretantes.

Nesta questão, praticamente metade dos estudantes não conseguiu representar as espécies por meio de estruturas de Lewis e, conseqüentemente, apresentou dificuldade na compreensão do conceito de ressonância não respondendo adequadamente a questão. O obstáculo pode estar no peso que a representação realista representa para esses estudantes, dificultando o abandono da idéia de que não se pode associar o elétron a uma partícula única (átomo), considerando que, pelo Princípio da Incerteza, o elétron não possui dimensão ou posição definidas. Como apresentam dificuldade em perceber determinadas características nos compostos,

dificuldades na construção de outro código ou modo representacional, não conseguem fazer as devidas relações e, desse modo, não conseguem conceitualizar.

Questão 02- *Existem 11 compostos isoméricos de fórmula C_5H_{10} , incluindo os isômeros constitucionais, geométricos e ópticos. Desenhe todos eles atribuindo a nomenclatura IUPAC, inclusive a nomenclatura cis/trans e R/S quando necessário.*

Essa questão é interessante do ponto de vista da Teoria da Percepção Peircena, pois, na resolução da questão, são necessárias habilidades de visualização espacial para a manipulação de estruturas moleculares no espaço, além de operações de pensamento em que devem realizar a formação da representação, a transformação e conversão entre diferentes modos representacionais. Verificou-se que apenas 5% dos estudantes conseguiram identificar e representar de 10 a 11 isômeros, 35% dos estudantes, representar e identificar de 5 a 7 isômeros e, a grande maioria, 60% dos estudantes, deixou essa questão sem resposta. Nesse caso, os estudantes não dispunham de modelos moleculares ou virtuais para auxiliá-los na representação espacial, devendo recorrer apenas à sua própria habilidade de realizar operações visuo-espaciais abstratas. Como se pode observar pelos dados, para a maioria deles não foi possível perceber determinados aspectos (qualidades) da estrutura dos isômeros, nessas condições.

No caso dos isômeros constitucionais, a maioria dos alunos obteve êxito na resolução (a representação plana permite naturalmente a diferenciação entre os isômeros planos), pois os alunos parecem dominar essa representação. No caso dos isômeros geométricos, em que a capacidade de diferenciar estruturas *trans* e *cis*, envolve habilidades de visualização espacial, em especial a transição **2D** (fórmula estrutural plana) para **3D** (forma geométrica) que envolve habilidades de rotação mental e percepção espacial. Os isômeros ópticos requerem, além das capacidades anteriores, habilidades de visualizar efeitos operatórios como rotação e inversão de objetos mentalmente. Como a maioria das pessoas e, conseqüentemente, dos alunos, não apresenta altas habilidades para realizar operações espaciais (KURBANOGU; TASKESENLIGIL; SOZBILIR, 2006/ WU; SHAH, 2004; WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001/ COLEMAN; GOTCH, 1998/ KEIG; RUBBA, 1993/ MAYES; JAHODA; NEILSON, 1988), o uso de modelos moleculares facilita possibilita permite a realização da tríade pedagógica sobre as estruturas permitindo, desse modo, a geração de novos interpretantes dinâmicos na relação entre diferentes estruturas, para os isômeros.

Questão 03- *Desenhe as estruturas dos compostos de fórmula molecular $C_4H_{10}O$, dê os nomes IUPAC e os coloque em ordem decrescente de ponto de ebulição, justificando sua resposta.*

Novamente, outra questão que exige dos alunos a mudança de códigos, ou seja, transformação e conversão de um modo representacional para outro. São questões que exigem do estudante a realização de várias operações de pensamento para estabelecer as relações pertinentes aos dados do problema. Exige capacidade para reconhecer padrões [Perceber] bidimensionais (**2D**) e tridimensionais (**3D**), orientação espacial e habilidade de visualização sem a presença de modelos concretos ou virtuais, bem como de realizar correlações entre estrutura e atividade, por meio da manipulação mental de estruturas moleculares [Relacionar], para só então classificar os compostos de acordo com suas propriedades [Conceituar]. Nessa questão, 35% dos estudantes deixaram a questão sem resposta, 45% representaram as estruturas para os compostos sem, no entanto, estabelecer relações entre a estrutura e o ponto de ebulição para os mesmos. Apenas 20% dos estudantes conseguiram representar corretamente todas as possíveis estruturas dos compostos, estabelecendo adequadamente relações entre a estrutura e suas propriedades. Fica claro que a grande maioria dos estudantes que responderam a essa questão não apresentou a competência representacional necessária para a resolução de problemas com essa complexidade. O uso de modelos moleculares poderia facilitar o perceber (qualidades) sobre as diferenças nas estruturas e permitir relacionar estrutura com propriedades e, desse modo, a compreensão dos conceitos envolvidos, ou seja, o estabelecimento da tríade pedagógica (perceber, relacionar, conceituar) necessária para a construção das diferentes estruturas representacionais.

Questão 04- *Desenhe todos os confôrmers eclipsados e alternados resultantes da rotação em torno da ligação C2-C3 do 2,3-dimetil-butano. Identifique o confômero de menor energia e o de maior energia, justificando a sua resposta:*

São necessárias algumas habilidades visuo-espaciais para resolver a questão. A resolução exige que os alunos convertam uma forma escrita em um diagrama [Perceber]. Após a construção do diagrama devem representar a rotação em torno da ligação e desenhar as conformações para a molécula de 2,3-dimetil butano [Relacionar] justificando quais estruturas conformacionais apresentam maior e menor energia [Conceituar]. As dificuldades começam a surgir na primeira etapa da resolução (transformação de enunciado para representação da estrutura) para depois fazerem a transformação de uma representação em outra (representação da estrutura molecular para a representação da estrutura na projeção de Newman; Figura 4.27). Já na conversão enunciado/estrutura do 2,3-dimetil butano, 20% dos estudantes apresentaram dificuldades, enquanto aproximadamente 60% dos estudantes tiveram dificuldades em fazer a transformação entre os diferentes modos representacionais para a estrutura desse composto, não conseguindo representar os confôrmers.

Figura 4.27. Padrão de resposta de alunos que tiveram dificuldades em resolver a questão

Na Figura 4.27 os estudantes fazem a representação para o 2,3-dimetil butano como etapa inicial na resolução da questão corretamente, mas ao realizarem a conversão para outro modo representacional (projeção de Newman) fazem a representação para um composto diferente daquele que haviam representado inicialmente. É interessante observar que mesmo com a representação equivocada do composto eles conseguem indicar corretamente quais são os confôrmeros de maior e menor energia. Esses dados apontam que o problema na resolução dessa questão não é conceitual, mas sim um problema de conversão entre dois modos de representação em que, no segundo, são exigidas habilidades visuo-espaciais. Em questão semelhante, realizada em outra turma com outro professor, em que são apresentadas as estruturas para os compostos já na projeção de Newmam, os alunos deveriam apenas estabelecer as relações: nessa situação, eles conseguiram um bom desempenho no problema.

Foi interessante verificar que esse grupo usa determinadas estratégias antes de realizar a conversão entre um modo representacional e outro (Figura 4.28). Os estudantes assinalam os carbonos que ficam no centro da Projeção de Newman. Todos os estudantes que fizeram uso dessa estratégia representaram corretamente todos os confôrmeros, identificando os de maior e menor energia.

A estratégia adotada pelos estudantes investigados é muito semelhante ao já relatado (STIEFF; RAGE, 2010), corroborando a hipótese de que o impedimento para a resolução de alguns problemas relacionados à Química ou à Química Orgânica, pelos alunos, seja menos de ordem conceitual do que devido a limitações de âmbito mais geral.

No estudo relatado na literatura, observou-se que, em tarefas mais complexas, em que é necessária manipulação mental de imagens e identificação de relações espaço-

visuais, os estudantes usam quase que unicamente o raciocínio diagramático para resolver problemas (como, por exemplo, os referentes à estereoquímica, mecanismos de reação e vias sintéticas), evitando o raciocínio imagístico, que implicaria manipular imagens mentais. Os estudantes aplicavam uma série de algoritmos sobre os diagramas a fim de tornar a informação espacial explícita bem como para prever o resultado de translações espaciais. Em síntese, faziam uso de diagramas para ilustrar características espaciais das estruturas, evitando empregar apenas imagens mentais (raciocínio imagístico).

Figura 4.28. Padrão de representações dos alunos que obtiveram êxito em resolver a questão

Conclui-se que aqueles estudantes, por apresentarem incapacidade de visualizar mentalmente as operações espaciais com as estruturas moleculares, buscavam alternativas para resolver problemas que exigem reconhecimento visuo-espacial de entes químicos, resultado bastante semelhante àquele que se pode depreender dessas análises.

Questão 05- Desenhe os dois confôrmeros em cadeira do *cis*-1-etil-4-metilciclohexano. Identifique o mais estável, justificando a sua resposta.

Também nessa questão, os alunos necessitam realizar transformações e conversões entre diferentes modos representacionais para resolverem o problema.

Para identificar os dois confôrmers os estudantes, além de construírem o desenho da estrutura para essas duas espécies, necessitam de habilidades visuo-espaciais para identificarem e distribuírem corretamente os grupos na posição axial e equatorial, ou seja, os estudantes deveriam considerar as diferentes configurações, *cis* e *trans*, problema que exige alta capacidade de perceber e de estabelecer relações (*vide* Figura 4.29). A questão foi deixada sem resposta por 50% dos estudantes. Dos que a responderam, apenas 30% representaram as configurações *trans* e *cis* para o composto, ao invés de representarem a configuração *cis* com os grupos na orientação axial ou equatorial.

Figura 4.29. Padrão de respostas de alunos que não tiveram dificuldades em resolver a questão

Nesse ponto, verifica-se uma confusão entre configurações *cis* e *trans* com as posições axiais e equatoriais dos substituintes. Apenas 20% dos estudantes respondentes conseguiram representar corretamente as duas estruturas para o *cis*-1-etil-4-metilciclo-hexano e, portanto, justificaram corretamente a estabilidade dos compostos indicando as posições axiais e equatoriais dos grupos etila e metila. Dificuldade em perceber determinadas características desses compostos pode ser observada na Figura 30.

Nessa questão, fica evidente a dificuldade dos alunos no processo de perceber, relacionar e conceituar. O fato de 50% dos estudantes desenharem uma estrutura para o composto diferente daquela (confôrmere A) solicitada para a substância indica sua dificuldade em representar o ciclo-hexano na forma de cadeira (*vide* Figura 4.30)

e, principalmente, em desenhar os grupos no plano (equatorial) ou perpendicular ao plano do anel (axial).

Figura 4.30. Modelos de estruturas para o *cis*-1-etil-4-metilciclo-hexano e *trans*-1-etil-4-metilciclo-hexano.

Questão 06- *Desenhe as fórmulas de projeção de Fisher dos estereoisômeros do 2,3-dibromo-pentano. Dê a nomenclatura IUPAC e identifique os pares de enantiômeros.*

Parte dos estudantes, antes de desenharem as estruturas dos compostos solicitados na projeção de Fisher, desenha a fórmula do 2,3-dibromopentano na forma de traços, para somente depois desenharem a estrutura na projeção de Fisher, similar ao já observado e comentado na questão 04.

Também nesse caso, os estudantes que preferiram usar um raciocínio diagramático obtiveram êxito na resolução da questão. Nessa questão, 70% dos alunos desenharam corretamente as estruturas dos estereoisômeros para o composto solicitado. Os alunos que usaram primeiramente a representação na forma de traços identificando os carbonos quirais (50%), responderam corretamente a questão (Figura 4.29). Os alunos que tiveram dificuldades na identificação dos carbonos quirais, partindo diretamente para a representação de Fisher (20%; Figura 4.31) tiveram dificuldades em identificar os enantiômeros e os diastereoisômeros. A questão não foi respondida por 30% dos estudantes, que não conseguiram desenhar corretamente o composto solicitado.

Nas questões analisadas dessa prova é possível verificar a dificuldade dos estudantes na compreensão do conteúdo conceitual contido nas diferentes representações simbólicas. Como os alunos não tinham em mãos modelos moleculares (bola-varetas) ou virtuais (ferramentas computacionais) para auxiliar na

construção das estruturas e, por conseguinte, realização da tríade pedagógica sobre os entes químicos, que permitiria estabelecer as devidas relações na geração de novos interpretantes é razoável pensar que a maior dificuldade nessa prova foram os fatores representacionais envolvidos na resolução das questões, do que propriamente dificuldades conceituais.

Figura 4.31. Padrão de representações dos alunos que não obtiveram êxito em resolver a questão

Os alunos tiveram muitas dificuldades em construírem corretamente as estruturas para os compostos solicitados principalmente no item que se refere à orientação espacial. Nessa prova, apenas 10% dos estudantes obtiveram notas superiores a 7,0 (sete); 30% de notas muito próximas a 5,0 (cinco) e, os demais (60%) estudantes, não atingiram nota superior a 4,0 (quatro).

Esses dados aproximam-se daqueles de um estudo realizado por Wu e Shah (2004) em que concluem que os alunos com baixas habilidades visuo-espaciais enfrentam obstáculos para transformar a informação verbal em representações visuais. Como as representações espaço-visuais são uma prática comum em Química e os conhecimentos conceituais estão baseados em representações moleculares e simbólicas, decorre que a escassa habilidade de visualização espacial é uma desvantagem.

Desse modo, de acordo com a Teoria da Percepção Peirceana, é fundamental o emprego de ferramentas computacionais ou de modelos moleculares físicos, que facilitem a realização da tríade pedagógica na geração de novos interpretantes sobre as estruturas moleculares na perspectiva da elaboração conceitual.

Prova 02 (16/10/2009) QCOI: 50 alunos do *Campus* Professor Aloísio de Campos (São Cristóvão- SE). As questões são apresentadas no Quadro 4.3.

Questão 01- Qual o produto principal da reação do R-2-bromo-pentano com:

- a) 1-butóxido de sódio concentrado, utilizando propanona como solvente;
- b) 1-butanol como solvente e nucleófilo;
- c) ter-butóxido de sódio em ter-butanol (2-metil-2-propanol), a quente.

Escreva as reações e os respectivos mecanismos:

Questão 02- Qual o produto da reação do 1-propeno com HBr. a) na ausência de peróxido; b) na presença de peróxido (ROOR): Escreva as reações.

Questão 03- Qual o produto da hidratação do 3,3-dimetil-1-penteno em: a) meio ácido; b) $\text{Hg}(\text{OCOCH}_3)_2$ seguido de $\text{NaBH}_4/\text{HO}^-$; c) $\text{THF}:\text{BH}_3$ seguido de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{HO}^-$: Escreva as reações.

Questão 04- Complete as reações abaixo:

Questão 05- Qual o produto da hidrogenação do 2-pentino com:

- a) Ni; b) Ni_2B ; c) $\text{Na}/\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$: Escreva as reações.

Questão 06- Qual o produto da hidratação do 1-pentino com:

- a) Hg^{+2} ; b) $[\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}(\text{CH}_3)]^2\text{BH}$ seguida de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{HO}^-$: Escreva as reações.

Quadro 4.3. Questões da segunda prova realizada.

Na resolução dessas 06 questões, em cinco delas (exceção da questão 04) os estudantes, primeiramente, deveriam construir as estruturas (diagramas, representações estruturais de moléculas) para os compostos solicitados, ou seja, no início da resolução da questão são exigidos construção e emprego de diferentes modos representacionais (mudança de um código para outro). Nas cinco questões, o estudante deverá vincular o processo de construção da estrutura proposta para a molécula, com o estabelecimento de relações para a elaboração e compreensão do conceito. Os modos representacionais devem atuar como mediadores entre a idéia de partida dos estudantes e o modelo teórico a construir, ou seja, a construção adequada da estrutura dos compostos é fundamental no processo de correlação entre a estrutura e a atividade dos compostos. A construção e formação de cada estrutura (modo

representacional) representam diferentes graus de dificuldade para os estudantes. O uso de apenas uma forma estrutural poderá apresentar obstáculos na resolução dos problemas, visto que uma única forma possibilita perceber apenas parte do objeto (signo). Nesse caso, a construção da representação da estrutura molecular é um processo fundamental no processo de resolução da questão, pois, é nesse processo que a construção da representação e a conceituação guardam entre si uma relação dialética: é a construção da representação que dá sentido aos conceitos, mas à medida que o estudante elabora determinados conceitos, mais capaz ele fica para construir novas representações. A evolução no processo representativo indica uma evolução no processo de elaboração conceitual.

Dos cinquenta estudantes (50) que realizaram a prova 01, apenas 35 realizaram a prova 02. Desses, 35% obtiveram nota superior a 5,0 e, 65%, nota inferior a 4,0. No grupo de estudantes com maior índice de erros na resolução dos problemas, a maior dificuldade encontrada foi a construção da estrutura molecular (diagrama) a partir da forma escrita para os compostos solicitados, seguida pela não visualização e representação da estereoquímica da reação. Poucos foram os estudantes desse grupo que representaram a configuração *cis* e/ou *trans* para os produtos das reações (vide Figura 4.32 e 4.33). Nenhum desses estudantes parece identificar a inversão da configuração quando a reação ocorre via mecanismo SN2.

O professor, quase sempre se limitando ao uso dos modelos, deixa de explorar inicialmente os conceitos inerentes a ele (tamanho, cor, disposição espacial, distância e de outros signos) e de fazer referência a esses conceitos (percebidos nos modelos) como recursos sýgnicos para manuseio e construção de novos signos. Os signos (advindos do processo perceptivo do espaço e/ou do objeto) devem preceder a representação de seu uso e mediar todo o processo da atividade didática experiencial. É o que nos ensina Peirce:

os elementos de todo conceito entram no pensamento lógico através dos portões da percepção e dele saem pelos portões da ação utilitária: e tudo que não puder exigir seu passaporte, em ambos esses portões, deve ser apreendido pela razão como elemento não autorizado (PEIRCE, 2003, p. 239).

Os estudantes que construíram adequadamente as estruturas para os compostos tiveram poucas dificuldades na questão envolvendo a estereoquímica dos compostos envolvidos na reação (Questão 01). Tal fato torna evidência as colocações de Hoffmann e Lazlo (1991) ao afirmarem que a ocorrência de erros conceituais, na

maioria das vezes, deve-se às dificuldades de interpretação, construção e conversão entre as representações químicas. Os estudantes que realizam corretamente a construção das representações estruturais e fazem as devidas transformações e conversões conseguem interpretar corretamente e resolver os problemas. Esses estudantes conseguem estabelecer relações entre os componentes conceituais e visuais expostos pelas representações como pode ser observado na Figura 4.34.

Figura 4.32. Padrão de respostas dos alunos que não obtiveram êxito na construção de estruturas

As estruturas das moléculas, mesmo quando corretas, são apenas estruturas no plano, que na forma de traços dificultam a percepção, visualização e compreensão dos mecanismos de reações ($\text{S}_{\text{N}}1$ e $\text{S}_{\text{N}}2$). Os estudantes que desenharam a estrutura do composto sem considerar a posição no espaço dos grupos da molécula têm sua capacidade de percepção de ocorrer ou não inversão de configuração limitada. Por

outro lado, os estudantes que constroem, no plano, as estruturas bidimensionais em forma de cunhas e, por conseguinte, apresentam maior facilidade de visualizar (perceber) espacialmente os grupos podem prever com maior facilidade a ocorrência, ou não, da inversão da configuração. Esse problema pode ser identificado na análise das Figuras 4.34, 4.35 e 4.36.

Figura 4.33. Padrão de respostas dos alunos que não obtiveram êxito na identificação da estereoquímica da reação.

Nessa questão, em especial, situamos ações de confronto relacionadas ao contexto experiencial concreto advindo das atividades com modelos moleculares e virtuais que foram propostas em sala de aula. Os instrumentos, no ensino de estereoquímica, têm papel representativo dos códigos da linguagem química e da realidade a ser aferida (Perceber). Já, no nível *Relacionar* (segundo nível) tem um conjunto de ações didáticas com o objetivo de provocar o aluno a elaborar e reelaborar as suas próprias concepções sobre o fenômeno estudado. As semioses desenvolvidas, no nível de *Relacionar*, estiveram essencialmente ligadas ao nível *Perceber*, gerando interpretantes, tendendo à simbolização em nível de secundidade. Através de percepções, se estabelecem relações sígnicas que indicam o objeto estudado. E, por último, temos o nível *Conceituar*, definido como um conjunto de ações em que o estudante, familiarizado com a atividade proposta, consegue organizar as informações pertinentes exploradas no decorrer dos processos de ensino e aprendizagem. As expressões do aluno constituíram-se de explicações coerentes e

conclusivas sobre a situação estudada e podem ser categorizadas como interpretantes lógicos em terceiridade.

Figura 4.34. Padrão de representações dos alunos que obtiveram êxito na formação da representação e da estereoquímica da reação.

Em síntese, os signos utilizados (símbolos) na representação estrutural do mecanismo da reação contêm a série de informações necessárias para a percepção do estudante, de forma que ele possa estabelecer as relações devidas e interpretar o problema, compreendendo os conceitos nele envolvidos.

Prova 03 (18/11/2009) QCOI: 50 alunos do Campus Professor Aloísio de Campos (São Cristóvão- SE).

Apenas 23 estudantes realizaram a terceira prova. Houve uma evasão de mais de 50% em relação aos estudantes que realizaram a prova 01. Os estudantes que obtiveram notas inferiores a 5,0, tanto na prova 01 como na prova 02, abandonaram ou trancaram a disciplina, ou seja, mais de 50% dos alunos que tinham dificuldades durante a disciplina desistiram antes da realização dessa última avaliação. Segundo os professores da disciplina, esse fato repete-se todo semestre letivo. Nesse ponto, o

objetivo não é o de discutir o abandono dos estudantes na disciplina, mas sim, chamar a atenção para 70% dos estudantes que realizaram a prova 03 terem obtido nota superior a 5,0. Nessa prova, o perceber, relacionar e conceituar, que são tidos como mediadores entre a idéia de partida dos alunos e o modelo teórico a construir, foi muito semelhante ao processo de resolução da prova 02. Das seis questões solicitadas, em cinco delas, os estudantes necessitam partir da construção da estrutura representacional (da forma escrita para a forma de diagrama), ou seja, há envolvimento da mudança de um código para outro. Para todas essas questões, a dificuldade inicial estava, principalmente, na construção da estrutura na forma de um diagrama (linhas, traços, por exemplo) para, depois, estabelecer as relações entre a estrutura, propriedades e a reatividade do composto. As questões da prova 03 estão sumariadas no Quadro 4.4.

Questão 01- Qual o produto da adição de um equivalente de H_2O em meio ácido ao 2-metil-1,5-hexadieno. Escreva a reação.

Questão 02- Quais os produtos da adição de um equivalente de HBr ao 2,3-dimetil-2,4-hexadieno. Escreva a reação com o mecanismo.

Questão 03- Qual o produto da reação de Diels-Alder entre o 1-metóxi-1,3-butadieno e a propinonitrila? Escreva a reação mostrando o mecanismo.

Questão 04- Aplicando a regra de Hückel e considerando se a estrutura é planar ou não, diga quais estruturas abaixo são aromáticas, anti-aromáticas ou não aromáticas: Justifique suas respostas.

Questão 05- Mostre o mecanismo da acilação de Friedel-Crafts na reação do benzeno com cloreto de butanoíla, em presença de AlCl_3 . Qual o nome do produto?

Questão 06- Mostre as etapas para a síntese do *m*-Xileno.

Quadro 4.4. Questões da terceira prova de QCOI.

O nível de dificuldades inicial aparecia, na maioria dos casos, na atividade que envolvia a construção de um diagrama ou da construção da estrutura **2D** ou **3D**,

partindo do modo escrito. Nessa prova, os estudantes que apresentavam grande dificuldade na mudança de códigos, ou seja, na construção de uma estrutura molecular adequada já haviam desistido da disciplina. Provavelmente devido a essa circunstância, dos 23 estudantes que realizaram a prova 03, 70% construíram estruturas adequadas para os compostos, apresentando (ou demonstrando terem) uma boa visão sobre a estereoquímica da reação e, desse modo, conseguiam estabelecer as devidas relações e compreensão sobre os conceitos envolvidos. Mesmo assim, há em torno de 30 % de estudantes que apresentam dificuldades na construção de estruturas moleculares.

Figura 4.35. Padrão de respostas de estudantes que não apresentaram dificuldades na construção das estruturas.

Na questão 04, são dadas as estruturas moleculares e os estudantes são desafiados a identificarem se as estruturas são planares ou não. Verifica-se que os estudantes têm dificuldade de perceber determinados aspectos observando apenas as estruturas no plano do papel, mesmo para compostos aromáticos que são compostos planares. Essa questão poderia ser facilmente resolvida se os estudantes pudessem

utilizar modelos moleculares, pois poderiam realizar a tríade pedagógica na geração de novos interpretantes. Os estudantes que apresentam habilidade visuo-espacial apresentam maior facilidade na resolução das questões que envolvem algum tipo de habilidade espacial (vide Figura 4.35, questão 01), apresentando desenhos de estruturas tridimensionais no plano. Para os estudantes com baixa habilidade espacial não se observou a construção desse tipo de representação (Figura 4.36).

Figura 4.36. Padrão de respostas de estudantes que apresentaram dificuldades na construção das estruturas.

É possível verificar que a principal diferença entre os dois grupos de estudantes está na capacidade de construírem representações que indiquem as estruturas de ressonância do composto. A capacidade de representar corretamente as estruturas de ressonância foi fundamental na resolução dessas questões, pois as informações que

podem ser percebidas na representação permitem identificar, através da análise dessas estruturas, os casos possíveis planaridade das moléculas das substâncias.

Prova 01 (02/10/2008) QCOI: realizada por 38 estudantes do *Campus* Professor Alberto Carvalho (Itabaiana-SE).

Questão 01- Para a reação: $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{H}_3\text{CCl} + \text{HCl}$

- Escreva as reações para a etapa de iniciação.
- Escreva as reações para a etapa de propagação.
- Escreva as reações para a etapa de terminação.

Para resolver essa situação-problema, inicialmente os estudantes deveriam construir a estrutura dos compostos através do modelo representacional de Lewis (identificação dos pares eletrônicos ao redor do átomo central) para, somente depois, indicar o processo de iniciação, propagação e terminação da reação radicalar na equação. Para resolver essa questão, os estudantes devem construir os modelos adequados, perceber e identificar as reações entre os pares de elétrons para poderem compreender uma reação radicalar. Nessa questão, apenas 8% dos estudantes conseguiram resolver adequadamente o problema. A grande maioria, 60%, não conseguiu construir a estrutura usando o modelo de Lewis, sobre a qual deveriam estabelecer as possíveis relações para chegarem à conceituação. O restante, 32%, construiu estruturas iniciais inadequadas e, portanto, não foi capaz de responder o problema. A resposta esperada pode ser representada como mostrado na Figura 4.37.

Figura 4.37. Etapas de iniciação, propagação e fechamento da cadeia.

Alguns desenhos de estruturas (ou tentativas de) dos estudantes que buscaram resolver o problema são apresentados nas Figuras 4.38 e 4.39. Analisando-se a

Figura 4.38, pode-se verificar que o diagrama construído pelo estudante sugere que ele não apresenta noção clara do que seja uma ligação covalente, tanto no caso do gás cloro ($\text{Cl}_{2(g)}$) como no caso do alcano (CH_3CH_3), porque ele não consegue indicar entre quais átomos está ocorrendo a ligação.

Figura 4.38. Desenho da estrutura de Lewis na tentativa de resolver o problema.

Figura 4.39. Desenho da estrutura plana (traços) na tentativa de resolver o problema.

Como os estudantes não construíram a estrutura molecular mais adequada para o composto e/ou mecanismo da reação, tiveram dificuldades de identificar algumas propriedades e características dos compostos que lhes permitiriam identificar a clivagem homolítica do átomo de cloro por ação da luz e o radical de cloro desencadeando uma clivagem na ligação **C-H** do metano (representação dos elétrons

no Cloro). Como não conseguiram perceber essa etapa, também não foi possível prever a reação em cadeia e o término do processo com o fechamento da cadeia.

Questão 02- *A reação do butano com o bromo leva à formação de dois diferentes monobrometos. Quais os monobrometos formados? Qual deles é formado em maior quantidade? Justifique sua resposta.*

Nessa questão, para iniciar a resolução do problema os estudante deveriam converter diferentes modos representacionais entre si, ou seja, fazer a conversão da forma escrita (linguagem escrita) para um registro de diagrama (linguagem gráfica). O composto a ser apresentado nessa questão foi o butano e os estudantes poderiam construir a estrutura para o composto na forma mais adequada. Nessa questão, 93% dos estudantes construíram as estruturas corretas para o butano, sendo que 47% fizeram a estrutura na forma condensada, 33% através de traços e somente 13% a apresentaram em linhas angulares (Figura 4.40; modelo de estrutura utilizado pelo professor durante as aulas). A questão foi respondida corretamente por 80% dos alunos. 16% dos estudantes construíram corretamente a estrutura dos monobrometos formados, mas, justificando de forma inadequada quais dos produtos eram formados em maior quantidade. O restante dos estudantes (4%) não resolveu a questão.

Estrutura na forma condensada

Estrutura na forma de traços

Estrutura na forma de linhas (bastão)

Figura 4.40. Diferentes representações estruturais para a molécula de butano.

Nessa questão, é possível perceber que, ao construírem uma representação estrutural para o butano (pois são possíveis diferentes formas de representações), a maioria dos estudantes também respondeu corretamente a questão. A construção inicial mais adequada para a estrutura permitiu aos estudantes interpretar e resolver corretamente o problema.

As questões 03 e 04 não foram analisadas por se tratarem de questões em que os alunos deveriam descrever determinados conceitos nos quais a construção de modos representacionais não seria fundamental para a resolução do problema, diferentemente da questão de número 05.

Questão 05- Observe as conformações do butano e ciclo-hexano apresentadas abaixo e responda.

- Qual é a conformação mais estável em cada caso?
- Em (a) mostre a conformação eclipsada e *anti*.
- Mostre em (b) a conformação em cadeira e em barco.
- Quais são as posições axiais e equatoriais em (b) na formação cadeira?

Nessa questão, o professor forneceu as diferentes estruturas moleculares para os conformeros do butano e ciclo-hexano, cabendo aos alunos identificarem [Perceber], fazer as devidas relações [Relacionar] e realizarem as interpretações sobre as estruturas [Conceituar] dos diagramas para resolver o problema. A resolução envolve questões relacionadas a noções espaciais que determinam a percepção de como os grupos estão distribuídos espacialmente para, desse modo, prever a estabilidade do composto em relação à distância entre os grupos no espaço. Nessa questão, 80% dos alunos determinaram corretamente a conformação mais estável em cada caso, as posições axiais e equatoriais e a conformação *anti* e eclipsada. Dos 20% que não acertaram totalmente a questão, identificou-se que o principal erro na resolução estava na interpretação da conformação do ciclo-hexano em forma de barco como sendo mais estável do que na forma de cadeira. Atribui-se tal confusão a dificuldades desses estudantes em visualizarem espacialmente a distância entre os hidrogênios da molécula. Mas, o fato do professor apresentar a estrutura conformacional para os compostos facilitou em muito a resolução da questão.

Questão 06- O composto 3-metil-hexano é um composto quiral. Desenhe os isômeros *R* e *S* deste composto. Como se denomina a relação entre os dois compostos?

Nessa questão, os alunos deveriam inicialmente construir uma forma estrutural para o composto. O primeiro passo seria, então, converter a forma escrita em diagrama. Ao construírem tal representação estrutural, deveriam identificar o carbono quiral e, somente após esse processo, poderiam mudar a representação estrutural para o composto (forma condensada ou na forma de traços para a forma de linhas

angulares). A construção de diferentes modos representacionais para a estrutura do composto foi fundamental para que os estudantes conseguissem resolver o problema. Apenas 20% dos estudantes resolveram a questão corretamente. O interessante foi verificar que esses estudantes realizam os três passos apresentados anteriormente para resolver o problema. Primeiro, eles constroem uma representação gráfica, identificam o carbono quiral e, só depois, realizam a transformação da representação para a forma de linhas angulares com cunhas, indicando os grupos que saem e que entram no plano podendo, desse modo, visualizar mais facilmente os dois isômeros, como pode ser observado na Figura 4.41.

Figura 4.41. Padrão de respostas dos estudantes que responderam corretamente a questão.

A maioria dos estudantes, cerca de 80%, apresentou dificuldades em resolver a questão, pois tiveram dificuldades em realizar a conversão e a transformação entre os diferentes modos representacionais (*vide* Figura 4.42). Como enfrentaram obstáculos na construção das diferentes estruturas para o composto, tiveram dificuldades na resolução do problema.

Figura 4.42. Padrão de respostas dos estudantes que tiveram dificuldades em resolver a questão.

Esse grupo de estudantes apenas construiu estruturas representacionais para o composto que lhes são mais familiares. Todavia, tal representação não é suficiente para visualizar e identificar os isômeros R e S (imagem especular no primeiro caso, que exige uma maior capacidade representacional, permitindo uma maior associação de informações).

As demais quatro questões dessa prova, não fizeram parte da análise, pois não foram consideradas relevantes do ponto de vista da Semiótica Peirceana, na questão da tríade pedagógica (Perceber-Relacionar-Conceituar), visto que não envolviam a necessidade da construção de estruturas moleculares em que a tríade pedagógica seria importante na resolução do problema. E, também, por não necessitarem de modos representacionais. Talvez se deva ao aspecto dessas questões envolver menor demanda cognitiva o fato de os estudantes terem obtido maior índice de acertos nelas. De modo geral, nessa prova como um todo, 10% dos estudantes obtiveram notas superiores a 7,0 (sete); 60% notas muito próximas a 5,0 (cinco) e cerca de 30% não atingiram nota superior a 4,0 (quatro).

Prova 02 (08/11/2008) QCOII: resolvida por 35 alunos do *Campus* Professor Alberto Carvalho (Itabaiana-SE).

Nessa prova, é possível verificar a questão da importância de compreender a linguagem química. Linguagem que permite imaginar e entender fatos experimentais sobre o comportamento das substâncias químicas em uma dada reação, através de modelos. Pode-se afirmar que aprender Química Orgânica é como aprender uma segunda linguagem, uma linguagem que é essencialmente verbal e pictórica (KLEIN, 2004). Na verdade, muitos conceitos químicos só podem ser compreendidos pelo fato de se poder trabalhar com imagens, desenhos e diagramas.

Nessa prova, diferente da prova 02, aplicada junto aos estudantes do *Campus* Professor Aloísio de Campos, esse outro professor, na elaboração das questões, apresentava as estruturas para os compostos, ou seja, os alunos não necessitavam construir as estruturas, cabendo a eles apenas as transformações das estruturas para a forma mais adequada para perceber e visualizar determinadas características na estrutura molecular. O interessante foi perceber que mais de 50% dos alunos conseguiram responder adequadamente às questões propostas. A prova foi composta de 09 questões e, em apenas três, os estudantes deveriam iniciar a construção da estrutura do composto a partir da forma escrita.

As dificuldades de resolução são muito semelhantes nas 07 questões, pois envolvem habilidades espaciais, capacidade de relacionar a estrutura com a reatividade, promover a transformação entre as representações de estruturas bidimensionais e tridimensionais. Pelos resultados positivos nas resoluções dessas questões, acredita-se que ao apresentar as fórmulas estruturais para os compostos em forma de linhas, o professor tenha reduzido a carga cognitiva necessária para a resolução das questões, pois não seria necessário fazer determinadas conversões, forma escrita para a forma gráfica, por exemplo. Acredita-se que, em parte, a relação entre os componentes visuais e conceituais foi favorecida conforme observado na Figura 4.43. Pode-se verificar que, a partir da estrutura fornecida pelo professor na questão 01, alguns alunos conseguem visualizar e manipular o diagrama das estruturas moleculares no espaço, pois as transformam para estruturas tridimensionais.

Figura 4.43. Padrão de resposta dos estudantes que responderam adequadamente a questão.

A análise da Figura 4.44 sugere que os estudantes com baixas habilidades espaciais, mesmo com a estrutura molecular fornecida pelo professor, apresentam

difficultades na resolução da questão por necessitarem perceber a orientação no espaço de determinados grupos da molécula.

Figura 4.44. Padrão de resposta dos estudantes que não responderam adequadamente a questão.

Além da dificuldade de perceber características da estrutura inicial fornecida pelo professor, esses estudantes apresentam dificuldades na determinação da configuração das moléculas dos produtos formados. Não apresentam compreensão do conteúdo conceitual contido nas estruturas. Tal fato também pode ser identificado em todas as demais questões. Nesse grupo de estudantes (40%) foi possível identificar dificuldades em reconhecer [Perceber] os grupos, as ligações e o número de carbonos na estrutura descrita na forma de linhas, fato que foi possível de identifica-lo ainda no acompanhamento das aulas, juntamente com esse grupo de estudantes (Turma 2009/2 no Campus Professor Alberto Carvalho – Itabaiana-SE).

Prova 03 (04/12/2008) QCOI: realizaram essa prova 28 estudantes do *Campus* Professor Alberto Carvalho (Itabaiana-SE).

Nessa prova, 70% dos alunos tiveram aproveitamento superior a 7,0 e, menos de 20%, aproveitamento inferior a 5,0. Pode-se atribuir esse resultado aos estudantes já estarem habituados a usar representações estruturais em forma de linhas, que permitem perceber determinados aspectos (qualidades) dos conteúdos espaciais. Também, pode ser devido ao fato de aproximadamente 25% dos estudantes que iniciaram a disciplina terem desistido logo ao final da primeira avaliação. A prova foi elaborada com 10 questões, sendo que, em 06 delas, o professor apresenta a representação estrutural dos compostos em forma de linhas ou pela fórmula molecular. Em duas questões (01 e 05), as representações da estrutura estão em forma de cunhas, facilitando a realização da tríade pedagógica sobre a espacialidade

da molécula [Perceber-Relacionar-Conceituar]. Assim, as operações de pensamento que os estudantes devem fazer para estabelecer relações [Relacionar] entre os dados do problema e realizar correlações entre as estruturas e a reatividade dos compostos na determinação da configuração dos produtos da reação são favorecidas, em parte, pelo professor.

As questões 01 e 05 foram as únicas respondidas corretamente por aproximadamente 90% dos estudantes. Diante dos diagramas estruturais, com estruturas tridimensionais (espacialidade), o estudante atuará sobre o problema com uma orientação espacial pré-determinada, facilitando perceber aspectos fundamentais sobre efeitos como rotação e inversão nas estruturas moleculares. Na Figura 4.45, é possível verificar como a representação estrutural direcionada para as características espaciais, que são fundamentais no estabelecimento das relações e, conseqüentemente, para a resolução do problema, permite uma interpretação mais adequada para a questão.

Figura 4.45. Padrão de resposta dos alunos que responderam adequadamente a questão.

Nesse modelo de resposta, é possível verificar que o estudante indica, na representação estrutural, o intermediário da reação, prevendo adequadamente a inversão da configuração dos produtos quando era o caso. Em várias respostas, foi possível identificar que os estudantes são capazes de reconhecer padrões

tridimensionais, apresentando boa percepção na construção e transformação dos modos representacionais que incluem operações cognitivas no domínio espacial.

Mesmo os estudantes que não atingiram nota superior a 5,0 nessa prova, demonstram conseguir realizar as devidas transformações no tipo da estrutura apresentada pelo professor, nas questões 02 e 05, conforme apresentado na Figura 4.46.

Figura 4.46. Padrão de resposta dos estudantes em relação à questão.

Prova 01 (15/09/2009) QCOII: realizada por 38 estudantes do *Campus* Professor Alberto Carvalho (Itabaiana-SE).

Essa prova foi elaborada com 10 questões, sendo fundamentais, em todas as questões, a construção e transformação dos modos representacionais das estruturas. Em 05 questões, o professor apresenta a estrutura molecular para os compostos em forma de linhas ou fórmula molecular ou fórmula molecular expandida e, em outras 05 questões, apenas na forma escrita, ou seja, cita apenas o nome do composto. Aproveitamento inferior a 5,0 foi obtido por 60% dos alunos, que tiveram muitas dificuldades na resolução das questões. Dos 40% que tiveram aproveitamento superior a 5,0, apenas 10% alcançaram aproveitamento superior a 7,0. As questões que foram analisadas nessa prova estão sumariadas no Quadro 4.5.

Questão 01) Represente a fórmula estrutural em linhas angulares e dê o nome dos compostos abaixo:

a) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_2\text{OH}$ b) $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$ c) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_2\text{CH}_3$ d) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$

b) $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ f) $(\text{CH}_3)_3\text{COCH}_3$ g) $\text{CH}_2\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$

Questão 02) A reação abaixo ocorre por um mecanismo S_N2 , sendo esta reação conhecida

como síntese de Williamson:

- Mostre a estrutura do produto, indicando inclusive a sua configuração absoluta.
- Comente sobre a estereoquímica da reação.
- Mostre o mecanismo da reação.
- Sabendo que as reações de substituição nucleofílica competem com as reações de eliminação, o que acontecerá se a temperatura for aumentada?

Questão 03) Quais os produtos da desidratação do 2-metil-2-pentanol e qual o composto que se forma em maior proporção na mistura?

Questão 04) Dê o produto da reação de:

- 2-butanol com PCC
- 2-butanol com $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}_2\text{SO}_4$
- Ciclo-hexanol com $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}_2\text{SO}_4$
- Ciclo-hexanol com PCC.

Questão 05) Represente as diferentes etapas da transformação seguinte e designe o mecanismo

Questão 06) Abaixo mostramos uma sequência de etapas para converter (R) 2-octanol para (S) 2-etoxi-octano. Mostre a fórmula estrutural dos intermediários A e B e especifique a configuração absoluta de cada um deles:

Questão 07) De um modo geral, o ponto de ebulição dos compostos orgânicos cresce com o aumento da massa molecular, o que não acontece com os compostos do quadro a seguir:

Composto	Massa molecular	Ponto de ebulição °C
Etilenoglicol (etanodiol)	62	198
2-metoxi-1-etanol	76	125
Dimetoxi-etano	90	83

a) Explique a diminuição do ponto de ebulição com o aumento do peso molecular nos compostos mencionados.

b) Na destilação fracionada de uma mistura contendo: álcool propílico, álcool etílico, acetona e éter etílico qual será a ordem de destilação?

Questão 08) Prediga o produto principal de cada uma das seguintes reações:

Questão 09) O 1-penteno reage com BH_3 seguido de oxidação com H_2O_2 em meio básico para formar uma mistura de dois alcoóis, o majoritário com 93%. Mostrar as estruturas dos alcoóis formados. A reação do álcool majoritário com Cloro Cromato de Piridino (PCC) fornece um aldeído. Mostrar a estrutura e nome deste aldeído. Lembrete! *O produto desta reação segue uma adição anti-Markovnikov diferente da adição de água a alcenos.*

Questão 10) a) Mostre qual ligação do etanol é rompida (quebrada) quando se mistura a ele Hidreto de Sódio. Qual é o sal formado nesta reação? b) Qual é a função do ácido sulfúrico nas reações de desidratação de álcoois?

Quadro 4.5. Questões da primeira prova de **QCOII**.

Em relação à questão 01, parece ser uma questão relativamente simples, porém, verificou-se que os alunos apresentaram dificuldades na transformação da estrutura dos compostos da fórmula molecular para a forma de linhas angulares. Aparentemente, não deveria ser um processo difícil, pois na fórmula molecular já são apresentadas todas as ligações dos carbonos com seus substituintes e, também, a ordem com que os carbonos deveriam estar indicados na representação estrutural. Na segunda etapa da resolução, quando deveriam realizar uma conversão entre as duas formas estruturais, forma de linhas angulares e/ou molecular para a forma escrita, os estudantes tiveram um bom desempenho, pelo menos na primeira parte da questão (transformação) e uma maior dificuldade na segunda parte (conversão). Mesmo os estudantes que tiveram aproveitamento inferior a 5,0 (cinco) conseguiram realizar a transformação da fórmula molecular para a forma de representação em linhas angulares (*vide* Figura 4.47), embora a grande maioria tenha apresentado dificuldades na conversão.

Figura 4.47. Padrão de resposta dos estudantes com dificuldades na conversão entre modos representacionais.

Nessa questão, mais de 90% dos estudantes responderam adequadamente a primeira parte da questão, mas 40% deles tiveram dificuldades na conversão para a forma escrita de alguns compostos. Esses estudantes apresentaram dificuldades em perceber o número de carbonos contidos na representação estrutural na forma de linhas quando o composto apresentava substituintes.

Em relação à questão 02, o professor apresentou a estrutura dos reagentes na forma bidimensional [Perceber], mostrando os grupos que estão no plano, entrando e/ou saindo do plano usando caracteres tipo desenho de cunhas. O estudante já parte de uma estrutura espacial [Relacionar], o que deveria facilitar a interpretação [Conceituar] do mecanismo para a reação, pois permite que seja previsto em qual posição do plano se daria o ataque nucleofílico, entretanto, 76% dos estudantes não conseguiram resolver adequadamente essa questão. Desses, a grande maioria, mesmo com a estrutura no plano apresentada pelo professor, teve dificuldades em perceber, relacionar e representar a inversão da configuração do produto formado, como pode ser observado na Figura 4.48.

Como os estudantes não conseguiram perceber determinadas características na estrutura da molécula que permitiriam realizar as devidas relações espaciais, também não foram capazes de interpretar o fenômeno da inversão de configuração, quando é

o caso (S para R)¹⁶. Percebe-se, nessa figura, que os estudantes não sabem o que estão desenhando, além do fato de que apresentaram dificuldades conceituais em responder os demais itens da questão, provavelmente devido à relação entre a representação estrutural e os conceitos envolvidos.

Figura 4.48. Padrão de resposta dos alunos com dificuldades na representação da inversão da configuração.

Na questão 03, 60% dos alunos deram respostas adequadas à questão e 40% não conseguiram resolvê-la adequadamente. As dificuldades mais comuns foram em relação à construção de estruturas em que não se deixasse de indicar todos os carbonos presentes. Tiveram dificuldades em construir a estrutura em forma de linhas angulares esquecendo, na maioria dos casos, de representar o grupo metila no carbono 2 (vide Figura 4.49).

Figura 4.49. Padrão de resposta dos estudantes com dificuldades na construção das estruturas

As questões 04 e 05 são muito semelhantes à questão 03 em relação aos problemas apresentados, ou seja, envolvem dificuldades de construção de representações estruturais na forma de linhas angulares, ou seja, dificuldades em

¹⁶ (R) e (S) vêm das palavras latinas *Rectus* e *Sinister*, significando direito e esquerdo, respectivamente.

perceber e identificar os carbonos implícitos na representação quando há substituintes no composto.

Na questão 06, menos de 10% dos estudantes responderam adequadamente. A grande maioria apresentou dificuldades, embora o professor tenha apresentado a representação estrutural no plano para o (R)-2-octanol e, também, informado a ocorrência da inversão da configuração. A maioria dos estudantes nem iniciou o processo de resolução dessa questão. Alguns conseguiram se aproximar da resposta, mas tiveram dificuldades em identificar as configurações S e R para o composto. Há dificuldade em perceber durante o mecanismo da reação a inversão de configuração.

Em relação à questão 07, em que os estudantes deveriam apenas construir a representação estrutural para os compostos relacionando a estrutura com duas propriedades físicas não envolvendo questões espaciais, mais de 90% dos estudantes respondeu adequadamente.

Na questão 08, mesmo o professor apresentando a estrutura molecular do composto, tanto a forma angular como a representação espacial no plano, apenas 10% dos estudantes respondeu adequadamente. Apenas os estudantes que conseguem visualizar [Perceber] a posição de ataque do nucleófilo e os que conseguem visualizar a ocorrência ou não da inversão de configuração [Relacionar] conseguiram apresentar uma solução para o problema. Como fator complicador, nessa questão, havia a abertura do composto cíclico, conforme apresentado na Figura 4.50.

Nas questões 09 e 10, como nas demais questões, os estudantes não deviam somente “traduzir” os dados do enunciado, eles deviam, essencialmente, realizar a conversão da linguagem escrita a uma linguagem gráfica (diferentes modos representacionais), o que, necessariamente, envolve um conjunto de operações para poder designar os objetos. A análise das questões sugere que os estudantes nem sempre apresentavam o domínio cognitivo necessário para a execução adequada do processo de conversão. Sua principal dificuldade provavelmente se deva ao fato de que o ente a ser representado não pode ser identificado com o conteúdo da representação, ou seja, o conteúdo de uma representação depende mais da estrutura representacional do que do ente representado.

Mudar de um modo representacional para outro não é somente mudar a forma da representação estrutural: envolve, também, explicitar as propriedades ou aspectos diferentes de um mesmo ente químico. A articulação entre os diferentes modos

representacionais constitui-se em uma condição de acesso à compreensão dos conteúdos conceituais envolvidos nos conteúdos representacionais.

Figura 4. 50. Padrões de resposta de estudantes que responderam adequadamente a questão.

Prova 02 (05/11/2009) QCOII: a prova foi realizada por 36 alunos do *Campus* Professor Alberto Carvalho (Itabaiana-SE).

A prova 02 também foi elaborada com 10 questões, sendo que, em 08 questões, o professor indica a estrutura molecular na forma de linhas angulares. Desse modo, os estudantes estariam mais centrados nos conteúdos conceituais do que nos representacionais, pois as questões já indicavam a espacialidade das moléculas, e, portanto, ao estudante caberia apenas reconhecer os padrões tridimensionais e a orientação espacial, diminuindo o grau de dificuldade que eles deveriam enfrentar para estabelecer as devidas relações entre os dados do problema. Na resolução das questões, 70% dos estudantes tiveram aproveitamento superior a 7,0 enquanto 30% tiveram aproveitamento inferior a 5,0. Todas as questões demandam operações espaciais como visualização e manipulação mental de estruturas moleculares. As questões da prova estão indicadas no Quadro 4.6.

Na questão 01 são fornecidas as estruturas dos reagentes e, ao estudante, caberia apenas indicar a estrutura do produto. O aluno deveria ter conhecimento sobre o mecanismo de adição à carbonila para cada uma das reações e visualizar mentalmente [Perceber] o ataque dos diferentes nucleófilos ao sítio reativo (Figura 4.51). A questão não foi respondida adequadamente por 60% dos estudantes.

Questão 01- Complete as reações abaixo fornecendo a estrutura dos produtos formados

Questão 02) Das reações apresentadas no esquema abaixo e mostre o produto e mecanismo destas reações.

Questão 03) Complete a seqüência reacional abaixo e mostre o mecanismo de uma destas reações:

Questão 04) Escreva um mecanismo para a reação de cloreto de butanoíla e amônia para fornecer butanamida e cloreto de amônio.

Questão 05) Dê o produto das reações de derivados de ácidos:

Questão 06) Mostre os produtos da reação do butanal com os reagentes a seguir:

a) NaBH_4 ; 2) H_3O^+ b) $\text{C}_6\text{H}_5\text{MgBr}$; 2) H_3O^+ c) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}_2\text{SO}_4$

Questão 07) Coloque os compostos abaixo em ordem decrescente de reatividade. Justifique.

Questão 08) Coloque os compostos de cada série em ordem crescente de ponto de ebulição.

Questão 09) Atribua o valor correto de pK_a a cada par de ácido carboxílico e justifique o porque.

Questão 10) Escreva as equações para a reação da ciclopentanona com:

a) NaBH_4 b) $\text{C}_6\text{H}_5\text{MgBr} + \text{H}_3\text{O}^+$ c) $(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{P}=\text{CH}_2$

Questão 11) Sugira possíveis reagentes para as transformações abaixo. Atenção: Mais de uma etapa pode estar envolvida.

Quadro 4.6. Questões da prova 02 de QCOII.

A principal dificuldade estava em visualizar o ataque do nucleófilo à carbonila, ou seja, na identificação do possível mecanismo da reação, na proposição do possível intermediário de reação, na avaliação do mecanismo ser preferencialmente de substituição ou de eliminação para, só então, prever o produto formado em maior quantidade. A dificuldade de percepção da generalidade do modelo explicativo, que é o mecanismo da reação de substituição nucleofílica à carbonila, é um exemplo típico de um dos grandes entraves na aprendizagem do pensar da Química Orgânica. A análise cuidadosa de uma resolução típica (Figura 4.51), freqüentemente observada em disciplinas de Química Orgânica, sugere que o aluno pensou cada um dos casos isoladamente, sem perceber regularidades nos processos.

Figura 4.51. Padrão de resposta dos estudantes com dificuldades na resolução da questão.

As questões 02, 03 e 05, por apresentarem graus de dificuldade semelhantes, foram analisadas conjuntamente. Em todas essas questões, os estudantes deveriam apresentar compreensão do conteúdo conceitual contido nas representações simbólicas e serem capazes de interpretar as informações implícitas nas estruturas moleculares fornecidas pelo professor. Essas foram questões em que os estudantes tiveram maior dificuldade, sendo que a maioria optou por não responder a uma ou duas delas. Um exemplo de padrão das respostas dadas pelos estudantes pode ser observado na Figura 4.52.

Pode-se verificar que esses estudantes não conseguem visualizar [Perceber] a posição do ataque do nucleófilo e prever o grupo de saída [Relacionar]. Como não conseguem perceber nem relacionar fica difícil conceituar, ou seja, não há realização da tríade pedagógica e a geração de novos interpretantes. Da análise dessa questão, infere-se que os estudantes não foram capazes de identificar que, mesmo com compostos diferentes, o mecanismo de reação é sempre o mesmo: adição do nucleófilo à carbonila, seguida por eliminação do grupo de partida. Trata-se, em todos os casos, de uma reação de hidrólise catalisada de derivados de ácidos orgânicos,

que sempre leva à formação de ácidos e de seus respectivos derivados dos grupos de saída (aminas, ácido clorídrico, ácidos orgânicos e álcoois).

Figura 4.52. Padrão de resposta dos estudantes com dificuldades na resolução da questão.

Nas demais questões, foram cobrados apenas conhecimentos de ordem conceitual em que, na maioria das respostas, havia necessidade de se estabelecerem correlações entre a estrutura e as propriedades físicas. Como as estruturas já haviam sido fornecidas pelo professor, a maioria dos estudantes não apresentou dificuldades na resolução dessas questões. Estes resultados corroboram aqueles do estudo de Solaz-Portolés e Sanjosé (2007), de que o uso de representações, tais como: esquemas, diagramas e/ou modelos, para ilustrar tanto o conhecimento envolvido como a arquitetura do problema, durante sua resolução, diminui a complexidade da atividade envolvida nesse processo cognitivo.

Prova 03 (03/12/2009) QCOII: realizaram esta prova 35 alunos do *Campus* Professor Alberto Carvalho (Itabaiana-SE).

A prova 03 é composta de 08 questões e, em 04 delas, são apresentadas as estruturas dos reagentes na forma de linhas angulares. Nas demais, os estudantes deveriam, a partir da forma escrita (nome **IUPAC** dos compostos), construir as estruturas moleculares para os reagentes para, somente depois, fazerem as devidas relações. Como na metade das questões havia a estrutura molecular para o composto, sobre a qual o estudante, com sua base de conhecimentos, deveria realizar as operações necessárias à resolução, a existência de um tipo de representação

diagramática pode ajudá-lo na proposição de possíveis abordagens para a solução do problema. Nessa prova, 55 % dos estudantes conseguiram responder adequadamente as questões, enquanto 45% apresentaram dificuldades. As questões da prova 03 estão sumariadas no Quadro 4.7.

Na questão 01, o estudante deverá, primeiro, realizar uma mudança no modo representacional, ou seja, a partir da forma escrita propor um diagrama. Somente com o diagrama, a construção da representação estrutural do composto, será possível responder adequadamente a questão. Segundo Habraken (2004), a representação simbólica deve representar o problema e deve, também, ajudar os estudantes a resolvê-lo. Portanto, alunos que apresentem dificuldades na representação da estrutura teriam dificuldades em resolver o problema. De fato, por apresentarem dificuldades em representar corretamente a estrutura dos reagentes ou dos produtos, aproximadamente 60% dos estudantes não responderam adequadamente essa questão.

Para as questões 02 e 03, o professor fornece a estrutura dos compostos na forma de linhas angulares e os alunos, para responderem a responderem, deveriam relacionar a estrutura do reagente, às posições dos grupos, prevendo o possível mecanismo de reação e o produto formado. São duas questões que envolvem uma maior relação conceitual do que representacional. O estudante deveria relacionar a estrutura do composto a suas possíveis propriedades e reatividade. Houve dificuldades por parte de 70% dos estudantes ao responder a essas duas questões.

Na questão 04, foi apresentada uma estrutura na forma condensada para o composto. Os alunos adotaram duas estratégias para a resolução da questão. Alguns realizaram a transformação dessa representação para a forma explícita (fórmula estrutural) e analisaram essa representação estrutural para prever as propriedades dos compostos e as compararam. Outros, a resolveram por raciocínio algorítmico. Nesse caso, a questão podia ser resolvida sem necessidade de compreensão do conceito e das representações envolvidas, ou seja, envolvia apenas memorização. Os alunos conseguiram resolvê-la sem evidenciar ter compreensão do equilíbrio envolvido no processo. Nesse contexto, 95% dos estudantes resolveram a questão.

Nas questões 05, 06 e 07 são apresentadas as estruturas na forma de linhas angulares e, a partir dessas representações, os estudantes deveriam visualizar e prever os mecanismos possíveis para as reações. Alguns estudantes apresentaram dificuldades em manipular essa forma de representação da estrutura. Não conseguem perceber os hidrogênios e suas posições no composto. (cont. p 190)

Questão 01) Partindo do benzaldeído, e utilizando os reagentes necessários, como você prepararia a *N*-etil-benzilamina?

Questão 02) Quais são os compostos de eliminação de Hoffmann das substâncias a seguir?

a)

b)

Questão 03) Complete a sequência reacional:

Questão 04) O íon fenilamônio ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3^+$) tem $\text{pK}_a = 9,33$ e o íon propilamônio, $\text{pK}_a = 10,71$. Qual é a base mais forte, fenilamina ou propilamina? Explique.

Questão 05) Dê o produto principal da condensação aldólica intramolecular da 4-oxo-1-pentanal. Faça o mecanismo desta condensação. (1,0 ponto)

Questão 06) Complete a sequência reacional. (1,0 ponto) Obs: LDA é uma base forte

Questão 07) Dê o produto e o mecanismo das reações

Questão 08) Nas condições de equilíbrio somente 0,000001% da acetona está enolizada. No equilíbrio, 76% da 2,4-pentanediona está enolizada! Desenhe as formas enólicas das duas substâncias e explique o resultado experimental.

Por outro lado, ao fornecer uma representação para o composto em que é possível observar ou visualizar a posição dos grupos, a maioria dos estudantes (70%) conseguiu responder adequadamente. Na questão 08, os alunos deveriam realizar uma conversão entre dois modos representacionais (escrita para diagrama) e, a partir da estrutura, desenhar as diferentes formas enólicas das substâncias, para poderem explicar o resultado experimental. Por apresentarem dificuldades em desenhar as estruturas (ou não compreendem o conceito de dispersão da ligação dupla nas estruturas de ressonância), 70% dos estudantes não respondeu adequadamente a questão.

“O desenho da estrutura molecular e da escrita de fórmulas químicas são carregados de ideologia e carregados de teoria” (HOFFMANN e LASZLO, 1991) que transmitem mensagens no desenvolvimento de teorias para a resolução de problemas. O conhecimento de conceitos químicos é, portanto, baseado em conhecimento de sistemas de representações. Portanto, os erros conceituais e as dificuldades dos estudantes na interpretação e conversão das representações químicas sugerem ser elas construtos conceituais que expressam conhecimento. Visualizar representações químicas requer a relação cognitiva entre componentes conceituais e componentes visuais que supõem a interpretação de signos.

A forma estrutural de uma molécula é mais do que uma representação gráfica. Ela proporciona uma descrição das propriedades e informações consideráveis sobre a cor, estado físico, solubilidade e, mais importante, sobre a reatividade química da molécula, informações que estão condensadas e sendo interpretadas quando a representação estrutural é percebida, relacionada e conceituada, estabelecendo-se a semiose na geração de novos interpretantes.

4.3. Apresentação e análise sobre a noção estrutural de estudantes e professores de Química Orgânica

Nesse item, procura-se apresentar e analisar as noções estruturais de estudantes e professores de Química Orgânica e, também, identificar suas visões sobre dificuldades de aprendizagem na disciplina de Química Orgânica. Para o desenvolvimento desta análise optou-se pela Análise de Conteúdo como proposta teórica que pode ser considerada como método de coleta ou de análise de dados. Sobre a constituição da matéria-prima que será focalizada na análise, Bardin (2000) apresenta diversas reflexões sobre os documentos que farão parte da pesquisa, ou seja, que irão constituir o *corpus* (conjunto dos documentos tidos em conta para serem submetidos aos procedimentos analíticos). Na Análise de Conteúdo, deve-se ter claro

que o significado que os documentos carregam (textos, falas, por exemplo) não é singular, porque sua identificação reflete o perfil dos interpretantes já que pesquisador deve elaborar novas semioses que se pautam na teoria pauta a pesquisa e em seus pontos de vista, ou seja, na maneira como percebe as informações ali presentes.

4.3.1. Análise dos resultados no questionário respondido pelos estudantes de Química Orgânica

O trabalho apresentado baseia-se na análise das respostas a um questionário aplicado a estudantes de seis (06) universidades públicas das regiões nordeste e sudeste do Brasil (Universidade Federal de Sergipe - **UFS**, Universidade Federal do Espírito Santo - **UFES**, Universidade Federal da Bahia - **UFBA**, Universidade Estadual de Santa Cruz - **UESC**, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – **UESB** e Universidade de São Paulo - **USP**). Responderam ao questionário 158 estudantes que estavam cursando ou já tinham cursado a disciplina de Química Orgânica II. Nesse caso, todos os estudantes já tinham concluído a disciplina de Química Orgânica I. Para organizar e analisar as informações coletadas utilizou-se a Análise de Conteúdo (BARDIN, 2000) para a proposição das categorias. Segundo Iachel (2009), trata-se de um conjunto de técnicas que visam principalmente à ultrapassagem da incerteza, ou seja, investiga se a leitura que realizamos de uma mensagem é a mesma realizada pelas demais pessoas (se é generalizável); busca o enriquecimento da leitura, aumentando sua produtividade e pertinência.

A partir da Análise de Conteúdo dos textos escritos pelos estudantes, determinaram-se unidades de registro nas repostas às duas questões do questionário. As unidades de registro foram frases, parágrafos e temas (regra de recorte do sentido e não da forma) e acontecimentos (elementos fatuais importantes para o composto em estudo) sobre as quais foram realizadas algumas inferências. Na segunda questão, relacionada à noção estrutural, além das unidades de registro também se fez uso da análise categorial do texto a partir dos temas determinados e da sua quantificação.

Questões relativas ao ensino de Química Orgânica

Das respostas relativas à experiência durante o curso de Química Orgânica I e Química Orgânica II, verificou-se que, enquanto 40% dos estudantes relatam uma experiência positiva, 60% relatam uma experiência negativa em relação à disciplina. Para melhor compreender as experiências, apresentam-se algumas das justificativas apresentadas pelos entrevistados (Quadro 4.8 e Quadro 4.9).

AEP1- *“Foi uma experiência muito boa, apesar de ter sido uma disciplina difícil.”*

AEP2- *“A disciplina é muito interessante, inclusive é a minha preferida entre as diferentes áreas, no entanto, vale ressaltar que é uma disciplina pesada, por conta do volume de informações que a torna cansativa.”*

AEP3- *“É uma matéria muito interessante e que me desperta muito interesse já que é extremamente aplicada nos produtos do cotidiano.”*

Quadro 4.8. **AEP** (alunos com experiência positiva na disciplina de Química Orgânica).

AEN1- *“Essa disciplina, acredito que foi e continua sendo, uma das mais complicadas do curso. Tenho grandes dificuldades em compreendê-la e já fui reprovado várias vezes nela.”*

AEN2- *“Durante o curso de graduação em química, foi a disciplina que mais tive dificuldades.”*

AEN3- *“Cursei Química Orgânica I e Química Orgânica II com excelentes professores, mesmo assim tive muitas dificuldades em compreender os conteúdos.”*

AEN4- *“Ruim, difícil de compreender.”*

Quadro 4.9. **AEN** (aluno com experiência negativa na disciplina de Química Orgânica).

A análise do Quadro 4.8 indica que, mesmo entre os alunos que relatam uma experiência positiva em relação à disciplina de Química Orgânica, há afirmações de que a disciplina é difícil, pesada, trazendo um volume grande de informações. Tanto entre os alunos que relatam experiências positivas como entre aqueles que relatam experiências negativas identificaram-se dificuldades no processo de aprendizagem dessa disciplina. Esses dados são semelhantes àqueles obtidos em pesquisas realizadas com estudantes de Química Orgânica em outros países (LIBBY, 1995; KATZ, 1996; HESLSEY, 2000).

Alguns estudantes fizeram relatos que retratam bem a experiência na disciplina (Quadro 4.10). As principais dificuldades apontadas pelos estudantes se relacionam àqueles conteúdos que envolvem aspectos representacionais. Na sua maioria, os estudantes dizem ter dificuldades em compreender *Mecanismos de Reações*. Em menor grau, aparecem outros conteúdos como *Estereoquímica*, *Isomeria*, *Visualização 3D de moléculas e relacionar estrutura com a reatividade de um composto*.

A maioria dos estudantes apenas indicava os conteúdos em que sentiram mais dificuldades e parece ser unanimidade que estivessem relacionadas à compreensão das representações associadas a mecanismos de reações. A compreensão de mecanismos envolve uma série de habilidades representacionais que vão desde a habilidade de se trabalhar com diferentes modos representacionais (condensada, traços, cunhas, Fisher, projeção de Newman, por exemplo) à habilidade de visualizar espacialmente a molécula. Também, há interpretação da relação entre a estrutura da molécula e sua reatividade. Porém, alguns poucos estudantes (A7, A8, A9 e A10) responsabilizam em parte os professores pelas dificuldades na disciplina.

A1- *“Minha grande dificuldade está em decorar mecanismos.”*

- A2-** *“Principalmente tive dificuldades no que se refere a mecanismos.”*
- A3-** *“Tive dificuldade na maior parte dos mecanismos, mais ainda na parte de oxidação de compostos.”*
- A4-** *“Eu tive grandes dificuldades em visualizar estruturas tridimensionais.”*
- A5-** *“Dificuldades em reações de substituição e eliminação. Também em estereoquímica.”*
- A6-** *“Senti muitas dificuldades na parte relacionada com o desenvolvimento dos mecanismos. Aquele vai e vem de setas me enlouquecia.”*
- A7-** *“Tive dificuldades em mecanismos. São vários e passados a esmo. Há muito conteúdo apresentado em comparação ao que é ensinado.”*
- A8-** *“O estudo de mecanismos somente por meio de slides dificultou muito o aprendizado.”*
- A9-** *“Tive muitas dificuldades. Entender o que o professor está falando, pois parece que os químicos orgânicos acham que sabemos do que estão falando. Ainda não somos químicos, estamos estudando para isso.”*
- A10-** *“Muitas vezes as dificuldades ocorrem devido à maneira como o professor ministra as aulas. Fazem somente uma cópia do Solomons¹⁷ ou de outro livro na lousa.”*

Quadro 4.10. Relato de experiência na disciplina de Química Orgânica.

Quando solicitados a comentarem sobre o uso ou não de ferramentas de visualização nas aulas de Química Orgânica e se tais ferramentas auxiliam, ou não, no processo de aprendizagem dessa disciplina, os estudantes comentam que as ferramentas facilitam a aprendizagem na disciplina, mas que poucas vezes eram utilizadas nas aulas pelos professores. Quando utilizadas, eram apenas demonstrações, ou seja, os professores não realizavam atividades específicas com os estudantes envolvendo ferramentas de visualização e nem os incentivavam a as utilizarem fora da sala de aula, como se pode observar no Quadro 4.11.

- A1-** *“Com certeza o uso dos modelos moleculares auxiliam no aprendizado. O uso desses modelos (bolas e varas) foi muito importante para a visualização dos estereoisômeros.”*
- A2-** *“O uso dos modelos moleculares melhora o entendimento das posições dos átomos e da geometria da molécula. Foram raras as vezes que o professor fez uso dessas ferramentas.”*
- A3-** *“Sim, estes artifícios nos ajudam a ter uma visão tridimensional das moléculas.”*
- A4-** *“A utilização desses materiais aumenta a compreensão das moléculas 3D. Mas o professor usou poucas vezes.”*
- A5-** *“O uso de objetos moleculares facilita o entendimento. Na maioria das vezes o professor não utiliza estas ferramentas.”*
- A6-** *“Os modelos moleculares contribuem positivamente no processo de aprendizagem, porém estas ferramentas foram pouco utilizadas quando cursei a disciplina.”*

Quadro 4.11. Relato sobre o uso de ferramentas de visualização durante as aulas de Química Orgânica.

Nessa etapa, fica evidente que mesmo os professores que reconhecem a importância do uso das ferramentas e de vários trabalhos na literatura indicarem que seu emprego facilita o aprendizado de Química Orgânica (URHAHNE *et al.*, 2009 / RUSAY, 2005 / FERCK *et al.*, 2003 / COPOLO; HOUNSHELL, 1995), geralmente os

¹⁷ Solomons, T.W.G., Fryhle, C.B., Química Orgânica, vol. 1 e 2, 7ª edição, Editora LTC, 2000.

professores não ressaltam os aspectos representacionais dos signos ao ensinarem a disciplina de Química Orgânica.

Questões relativas à Noção Estrutural

Na análise das respostas sobre quais eram os tipos de representações mais utilizados para representar as estruturas de moléculas de compostos orgânicos, durante as aulas de Química Orgânica, predomina, entre os professores, a representação estrutural do esqueleto carbônico da molécula, em que se enfatizam os ângulos de ligação e os carbonos e hidrogênios não são mostrados explicitamente. Apenas os substituintes diferentes de hidrogênio são explícitos nessa representação, muito comum na comunicação entre químicos orgânicos, por enfatizar apenas os aspectos mais relevantes, em uma forma simplificada, demótica, de comunicação visual. Os carbonos estão nos vértices dos ângulos formados pelas linhas que representam as ligações covalentes nessas fórmulas (eventualmente designadas como fórmulas em bastão); (*vide* Figura 4.53). O uso é justificado pela facilidade e economia de tempo no processo de escrever ou desenhar as representações estruturais para os compostos. Também, pelo fato de se tratar de um modo representacional simplificado, que permite que, com apenas o esqueleto carbônico, seja possível indicar um grande número de informações sobre a estrutura, propriedade e reatividade do composto. Por outro lado, há um aumento no conteúdo representacional (na medida em que várias informações estão implícitas) e, desse modo, exigem do estudante uma maior abstração e capacidade para perceber as características e propriedades contidas na estrutura representacional.

Outro tipo de representação estrutural muito utilizada é a representação na forma tridimensional ou fórmula em perspectiva (Figura 4.53). Nessa forma de representação, as ligações que se projetam para fora do plano do papel são indicadas por uma cunha cheia, aquelas que se localizam atrás do plano da página são indicadas com uma cunha tracejada e aquelas ligações que se encontram no plano da página são indicadas por uma linha cheia (Figura 4.54).

Outro tipo de representação estrutural muito utilizada é a representação na forma tridimensional ou fórmula em perspectiva (Figura 4.54). Nessa forma de representação, as ligações que se projetam para fora do plano do papel são indicadas por uma cunha cheia, aquelas que se localizam atrás do plano da página são indicadas com uma cunha tracejada e aquelas ligações que se encontram no plano da página são indicadas por uma linha cheia (Figura 4.55).

Figura 4.53. Representação estrutural na forma de linhas de ligação para diferentes compostos.

Figura 4.54. Representação na forma tridimensional para a molécula de 2-bromobutano.

Mesmo os professores fazendo uso preferencial dessas representações na forma de linhas (Figura 4.55a) e tridimensionais, os estudantes, geralmente, as transformam em uma forma mais explícita (Figura 4.55b), de modo que a representação estrutural, embora não mostre os ângulos, mostre tanto as ligações como os substituintes de cada carbono, de modo a diminuir a demanda cognitiva sobre a representação estrutural.

Figura 4.55. Representação na forma de traços para a molécula de álcool isopropílico.

A análise das respostas à questão que aborda o papel da representação em Química Orgânica levou à construção de seis categorias (Tabela 4.2) que possibilitaram uma melhor compreensão sobre as diferentes concepções dos estudantes sobre essa temática

Tabela 4.2. Frequência das formas de pensar em relação ao papel da representação no ensino de Química Orgânica.

Categoria	Concepção dos estudantes sobre o papel das representações no ensino de Química Orgânica	Porcentual de estudantes (%)
1	Facilitar a visualização de estruturas moleculares	32
2	Auxiliar no entendimento dos conceitos e das estruturas moleculares	25
3	Dar a posição dos elementos na molécula e do tipo de ligação	14
4	Mostrar a molécula de forma mais didática e mais clara	12
5	Trazer uma aproximação mais realista para o conhecimento	10
6	Resposta sem sentido ou não respondeu	7

Na tabela 4.2 verifica-se a predominância de algumas formas de pensar sobre outras, independentemente da quantidade de alunos. As respostas identificadas nas categorias 1 e 2 são predominantes sobre as demais. As respostas agrupadas nessas categorias expressam concepções similares àquelas que se encontram na literatura sobre o papel das representações no ensino de Química. Hegarthy, Carpenter e Just (1991) indicavam que as representações químicas tais como estruturas moleculares e modelos atômicos são diagramas, parcialmente esquematizados e parcialmente icônicos, que retratam conceitos abstratos e que se aplicam convenções para ilustrar tanto os componentes quanto sua organização. Nöh e Sharmann (1997) afirmam que as diferentes formas de representação na Química têm sido utilizadas para comunicar conceitos a estudantes e que os currículos e livros didáticos usam uma variedade de representações visuais para introduzir conceitos químicos fundamentais levando a geração de novos signos interpretantes.

Em relação à representação da molécula de propanol, verificou-se uma preferência pela representação na forma de linhas de ligação, embora na questão anterior os alunos entrevistados tenham demonstrado que preferiam a representação na forma estrutural explícita (fórmula estrutural), com traços representando a ligação covalente entre os átomos, representados por letras latinas, seus índices explícitos. Identificou-se que 50% dos estudantes desenha a estrutura para a molécula de propanol na forma de linhas de ligação (bastão), 30% na forma de traços e 18% na forma condensada e, os demais, na forma tridimensional. A maioria dos estudantes usou a

forma de representação estrutural, que é a mais utilizada pelos professores durante as aulas de Química Orgânica.

Na questão em que foi solicitado aos estudantes que respondessem o que é uma molécula, foi possível identificar várias concepções alternativas em relação ao para o conceito de molécula. As categorias apresentadas na Tabela 4.3 ilustram como se configurou, entre os estudantes, esse conceito (molécula).

Tabela 4.3. Frequência das formas de pensar em relação ao conceito de molécula

Categoria	Concepção dos estudantes sobre o conceito de molécula	Porcentual de estudantes (%)
1	É um conjunto de átomos ligados entre si	72
2	É um <i>composto</i> que tem dois ou mais elementos químicos ligados por ligação covalente.	10
3	É uma entidade química com estabilidade.	6
4	<i>Elemento químico</i> em sua unidade.	4
5	É a menor parte de uma substância que conserva suas propriedades.	5
6	Não respondeu	3

A maioria dos estudantes define molécula como um conjunto de átomos ligados entre si (72%). Esses resultados são muito semelhantes aos encontrados no estudo de Harrison e Treagust (1996), em que se verificou que os estudantes definem molécula como agrupados de átomos. Taber (1998) também verificou que os estudantes definem molécula como sendo grupos de átomos, em vez de entidades químicas básicas. Tal definição também é corrente em livros didáticos do Ensino Médio, em que a descrição de uma molécula é a de que essa seja uma espécie na qual os átomos estão ligados por ligações covalentes. Cada ligação resulta da partilha de dois elétrons, geralmente um de cada um dos átomos ligados. Embora se possa admitir que essa concepção abrigue problemas implícitos de ordem ontológica, caso não esteja claro para os alunos que o estabelecimento da ligação química conduz a um ente diferenciado dos anteriores, isto é, os átomos não ligados, além de ser um modelo de ligação simplificado. Entretanto, é suficiente para a introdução de muitos princípios básicos da linguagem da Química Orgânica.

Em outro estudo, Taber (1996) aponta que admitir que o átomo seja uma unidade básica pode significar que as moléculas sejam vistas como meras associações de átomos individualizados (por exemplo, um grupo de átomos ligados entre si), em vez de serem, em si, identificadas como uma entidade básica, em que houve modificações nos átomos devidas às interações que se estabeleceram entre eles. Da mesma forma, elétrons e íons são muitas vezes vistos apenas como átomos modificados (por

exemplo, um átomo que perdeu ou ganhou elétrons), em vez de serem vistos como entidades com propriedades intrínsecas próprias.

Nesse mesmo estudo, Taber (1996) afirma que definições dos conceitos mais fundamentais em Química (elemento, substância, composto, molécula, átomo, íon, por exemplo) são problemáticas. Aponta que tais dificuldades podem advir de uma noção muito limitada do papel dos modelos na Ciência. São conceitos que não são derivados ou inter-relacionados uns com outros de forma lógica, pelo menos não de uma forma simples e direta. Aponta que uma saída para o problema seria começar a pensar em uma ontologia para a molécula (ou para as entidades químicas). O trabalho de Renström, Andersson e Marton (1990) demonstra que a aquisição da noção científica sobre moléculas pode ser um processo lento: com moléculas vistas diversas vezes pelos estudantes em diferentes estágios no desenvolvimento de sua compreensão do modelo como uma parte da substância, formado a partir da substância e rodeado pela substância. A proposição básica de que *"tudo é feito de moléculas"* precisa agregar ênfase *"e nada mais"*.

Para estabelecer a representação de uma molécula, a maioria dos livros didáticos recomenda o modelo de Lewis, em que se representam apenas os pares de elétrons da camada de valência da eletrosfera do átomo (a de maior energia) ao redor da letra que representa o átomo do elemento. A representação de moléculas através de modelos moleculares (Lewis) é generalizada em Química Orgânica. Há apenas a introdução do caráter polar de algumas ligações e da idéia de moléculas polares. Essa abordagem não deveria acarretar problemas de compreensão desde que a percepção dos diferentes signos fosse estabelecida pelos estudantes.

Nessa questão, o mais preocupante é que cerca de 20% dos alunos tenham concepções absolutamente equivocadas sobre o conceito. As construções que possam estar fazendo a partir dessa interpretação seriam um problema interessante a ser pesquisado. De qualquer forma, seria importante que os professores universitários tivessem ciência dessas concepções de seus alunos quando ministram uma determinada disciplina e das barreiras que elas podem criar para a aprendizagem. Essas concepções estão disseminadas e, diferente do que se imagina, podem se tornar obstáculos para o processo de aprendizagem de conceitos de Química Orgânica.

Em seguida, os estudantes deveriam responder o que era uma representação estrutural da molécula. Nos dados obtidos da análise dessa questão, fica muito

evidente como as concepções sobre molécula interferem na noção estrutural de molécula ou de outra entidade química (Tabela 4.4).

Tabela 4.4. Concepção em relação à representação estrutural de uma molécula.

Categoria	Concepção dos estudantes sobre a representação estrutural de uma molécula	Porcentual de estudantes (%)
1	É uma forma de visualizar a molécula no plano ou no espaço.	43
2	É a representação da estrutura e posição dos constituintes da molécula.	33
3	Uma representação didática que tende a se aproximar do real.	9
4	Um esquema que representa a molécula e não significa que seja fiel ao real	6
5	Não respondeu	9

Concepções realistas acerca da existência material das entidades químicas (átomos, ligações químicas e moléculas, por exemplo) podem ser identificadas nas respostas dos estudantes. Algumas dessas respostas são indicadas no Quadro 4.12.

A1- *Uma molécula é a representação de átomos ligados.*

A2- *É a formação mais simples de determinado composto, no qual ocorrem ligações covalentes e interações fracas.*

A3- *É uma representação que mostra quantas ligações um átomo faz.*

A4- *É uma espécie química constituída de elementos químicos.*

A5- *É a menor parte de um composto.*

A6- *É a menor parte da substância que apresenta as características do composto.*

A7- *União entre átomos.*

A8- *É o conjunto de dois ou mais átomos.*

Quadro 4.12. Respostas dos estudantes de química sobre moléculas e representação de moléculas.

São concepções que indicam uma dificuldade na compreensão do conceito de moléculas e do que seja a representação dessa molécula.

As seqüências de ensino relativas às noções estruturais na Química Orgânica deveriam considerar não apenas aspectos do conteúdo científico, mas também o processo de percepção desse conhecimento pelos alunos durante as aulas. Segundo a semiótica, nosso acesso às entidades químicas (átomos, moléculas) é mediado pelas interações (signos) que podem ser estabelecidas por meio das estratégias de comunicação usadas em sala de aula. Inicialmente, as representações de estruturas químicas (fórmulas químicas, por exemplo) procuravam reunir evidências empíricas e eram criadas para funcionarem como signos, apresentando a organização dos átomos

em um composto. Rapidamente, passaram a servir como ferramentas de antecipação ou de explicação de resultados experimentais. No entanto, parece que tais discussões não fazem parte de atividades em sala de aula. Por outro lado, há também a influência dos materiais didáticos utilizados como referências nas disciplinas de Química Orgânica que podem influenciar nessas visões realistas, como é o caso, por exemplo, do manual de Química Orgânica de Clayden e Greeves (CLAYDEN e GREEVES, 2001). No capítulo sobre *Estruturas Orgânicas* em que são apresentadas algumas diretrizes para a atividade de “desenho de moléculas” os autores recomendam que se deve: *i) ser tão realista quanto possível, no sentido de que as representações devem considerar os ângulos reais que existem nas moléculas* (grifo nosso). MacMurry (2001) também enseja representação como algo real, mas ambos afirmam que representações estruturais fornecem apenas uma idéia do real.

Na questão em que os estudantes deveriam responder qual o significado de uma estrutura química, a comparação das categorias obtidas da análise dessas respostas (Tabela 4.5) com aquelas da questão anterior (Tabela 4.4) e as informações do Quadro 4.12 evidencia um conjunto de semelhanças entre as respostas dos estudantes de diferentes **IES** (Instituição de Ensino Superior). Em síntese, a frequência das formas de pensar em relação à representação estrutural de uma molécula é muito semelhante às formas de pensar em relação ao significado de uma estrutura química.

Tabela 4.5. Concepção em relação ao significado de uma estrutura química.

Categoria	Concepção dos estudantes sobre o significado de uma estrutura química	Porcentual de estudantes (%)
1	Representar o arranjo e o número de átomos em uma molécula	58
2	Uma forma de visualizar a estrutura das moléculas no plano ou no espaço	21
3	Facilitar a compreensão da estrutura, visualizar as diferentes interações atômicas e as propriedades funcionais	7
4	Mostrar de forma detalhada a identidade da molécula	3
5	Não respondeu	11

Identifica-se certa coerência nas respostas dos estudantes sobre o significado de uma representação. O significado de representação está relacionado a uma forma de fornecer informações específicas acerca dos compostos químicos. No entanto, tal especificidade não pode ser considerada um processo natural e sempre há necessidade do uso de novos signos de modo a ampliar e possibilitar múltiplas representações para o mesmo objeto químico. A compreensão do processo semiótico de elaboração de construtos científicos leva à valorização de aspectos de mediação

(representação) nas salas de aula de Química Orgânica, que podem se contrapor ao realismo relacionado aos objetos da Química.

Na última questão, foi solicitado aos estudantes que relatassem as possíveis interpretações para o diagrama mostrado na Figura 4.56.

Figura 4.56. Representação para uma reação de substituição bimolecular.

No diagrama, os estudantes deveriam identificar o significado implícito: inicialmente, deveria identificar o “*sítio reacional*”, local provável em que deve ocorrer a transformação química do substrato (**CH₃Br**). Após essa etapa, deveriam identificar a região ocupada pelo bromo (**Br⁻**), que dará lugar a uma outra espécie que garanta a mesma carga parcial negativa nessa região. Depois, deveriam identificar a espécie química que iria substituir o bromo, o agente transformador do substrato, que iria preencher o substrato em termos de carga e forma. Em síntese, na reação entre o bromometano e o hidróxido de sódio, ocorre o processo de substituição do bromo, que é substituído do substrato pelo nucleófilo hidróxido. Esse processo acontece em uma única etapa e recebe o nome de reação de substituição nucleofílica bimolecular, simbolizada por **S_N2**. A categorização obtida da análise das respostas dos estudantes a essa questão está apresentada na Tabela 4.6. Nesta tabela o termo que mais vezes aparece, nas respostas dos estudantes, é a palavra “*ataque*”. Há, por parte dos estudantes, uma visão de que o diagrama representa uma reação de substituição nucleofílica através do ataque do íon hidróxido ao carbono do substrato.

Tabela 4.6. Frequência das formas de pensar em relação à interpretação do diagrama

Categoria	Concepção dos estudantes sobre a interpretação do diagrama	Porcentual de estudantes (%)
1	Substituição nucleofílica	36
2	Ataque nucleofílico do hidroxido ao carbono	30
3	A hidroxila se liga ao carbono liberando o bromo	18
4	O hibróxido ataca a molécula de bromometano	6

5	Ocorre uma substituição eletrofílica	4
6	Não respondeu	6

No entanto, é possível verificar que há estudantes que não compreendem os signos usados no diagrama e que há estudantes que confundem nucleófilo com eletrófilo (4%). Mesmo indicando que o diagrama representa uma reação de substituição nucleofílica **SN2**, nenhum estudante se preocupou em descrever o mecanismo da reação que estava implícito pelas duas setas, uma indicando a aproximação do nucleófilo (**OH⁻**) ao sítio reacional (onde ocorre a transformação química do substrato) e outra seta indicando o grupo abandonador do substrato (**Br⁻**). Em síntese, os estudantes não consideraram importante ressaltar outros aspectos representativos do processo, além da etapa de ataque ao carbono, nem sequer enfatizando o caráter concertado (ou não) do processo.

Interpretando-se esse processo de construção de significados em termos semióticos, esses aspectos sugerem a necessidade de que se desenvolvam, em sala de aula, atividades que enfatizem o emprego de ferramentas simbólicas para a facilitação da aprendizagem. Assim, seria importante considerar, por exemplo, a capacidade do estudante em desenvolver, reconhecer e usar os recursos funcionais e/ou ferramentas simbólicas para a construção de uma explicação sobre os fenômenos, no planejamento de seqüências didáticas que possam facilitar que dominem a linguagem representacional da Química Orgânica, de acordo com o já relatado em vários trabalhos da literatura (LIBBY, 1995; KATZ, 1996; HESLSEY, 2000; KOZMA e RUSSEL, 2005).

4.3.2. Análise dos resultados no questionário aplicado aos professores de Química Orgânica

O trabalho apresentado baseia-se no tratamento analítico das respostas a um questionário aplicado a professores de seis (06) universidades públicas das regiões nordeste e sudeste do Brasil (**UFS, UFES, UFBA, UESC, UESB e USP**). Responderam o questionário 32 professores (doutores e professores de disciplinas de Química Orgânica) que estavam ministrando ou já haviam ministrado disciplinas de Química Orgânica básica.

Questões relativas ao ensino de Química Orgânica

As respostas da primeira questão foram analisadas e organizadas em categorias (BARDIN, 2000; *vide* Tabela 4.7). Os professores deveriam comentar sobre as causas que levam os estudantes a terem dificuldade na aprendizagem dessa disciplina,

considerando a experiência de cada um durante sua docência nos curso de graduação.

Tabela 4.7. Dificuldades de aprendizagem em Química Orgânica na visão dos professores (%)

Categorias	Alunos - Aprendizagem	Subcategorias	Ensino Médio	Alunos possuem pouca base de Química oriunda do Ensino Médio	26
				Aluno que chega na universidade sem saber interpretar um texto	5
		Ensino Superior		O aluno não é treinado a imaginar moléculas 3D. Dificuldades de percepção do espaço tridimensional	22
				Falta de base em conhecimentos prévios de Química Geral	17
	Professores - Ensino	Subcategorias	Disciplina	A própria linguagem da Química Orgânica com muitos signos e regras	7
				Conteúdo bastante vasto	4
		Metodologia		O ensino de Química Orgânica baseado em memorizações	8
				Falta da utilização de recursos audiovisuais e de programas virtuais por parte dos docentes	4
				O aluno não é levado a raciocinar	3
				Professores com pouca experiência no Ensino e dificuldade em trabalhar a disciplina de forma mais clara e significativa	4

Os professores apresentaram suas opiniões sobre vários fatores que podem estar relacionados às causas de dificuldade de aprendizagem. Da análise das questões dos professores foram construídas duas categorias (Tabela 4.7). O interessante é verificar que as dificuldades apontadas pelos professores são atribuídas, em grande proporção, aos estudantes (70% dos professores atribuem as dificuldades aos estudantes). Outras causas (30%) seriam atribuíveis a questões relativas ao ensino: (i) não tiveram formação pedagógica; e, (ii) à própria disciplina de Química Orgânica (linguagem simbólica). Os professores atribuem a fatores intrínsecos as dificuldades dos estudantes. É possível perceber que a maioria dos professores responsabiliza os estudantes pelas dificuldades de aprendizagem, o que pode ser observado em algumas de suas respostas às questões, como apresentado no Quadro 4.13.

O interessante é que essa fala vem de professores de uma universidade (UESC) que apresenta uma Matriz Curricular¹⁸ para o curso de Licenciatura em Química diferente das demais. Nessa instituição, o componente curricular Prática de Ensino é distribuído entre todas as disciplinas do curso. Há uma compreensão no colegiado do

¹⁸ A matriz curricular do curso de Licenciatura em Química da UESC pode ser visto em: http://www.uesc.br/cursos/graduacao/licenciatura/quimica/ppedagogico_licenciatura.pdf

curso de que todos os docentes são responsáveis pela formação inicial de professores e, portanto, todos têm o dever de discutir questões relacionadas ao ensino em suas disciplinas (Química Orgânica, Química Analítica, Química Inorgânica, Físico-Química).

P1- “O principal fator é a má vontade quanto à leitura de textos em Química Orgânica. Nossos alunos resistem em buscar informações nos livros textos básicos. Isso os leva a repetência e erros, pois a falta de leitura não os permite descobrir como e porque erraram.”

P2- “Posso apontar três fatores que são a causa de tanta dificuldade na disciplina: ensino médio fraco, nível baixo dos alunos selecionados na universidade e a falta de interesse por parte dos alunos”.

P3- “Boa parte dos alunos chegam a universidade com deficiências conceituais muito profundas e a reparação desses conceitos não é tarefa fácil, pois há um grande desnivelamento de conceitos do alunado ingressante na universidade.”

Por outro lado, é possível perceber que há também professores que começam a identificar que a causa das dificuldades não é apenas de aprendizagem, mas também de ensino.

P4- “Há também, falta de utilização de recursos audiovisuais, bem como de programas computacionais editores de Química Orgânica, por parte dos docentes.”

P5- “Como professor, eu sinto dificuldade em apresentar de forma mais clara para os alunos, os fundamentos da disciplina, principalmente os conceitos que são fundamentais ou pilares na Química Orgânica. Assim como eu, acredito que há muitos professores com pouca experiência ou com nenhuma formação em licenciatura atuando em sala de aula.”

Quadro 4.13. Opinião dos professores sobre as dificuldades dos estudantes.

Na questão 02, o objetivo era identificar as atividades de ensino priorizadas pelos professores em suas aulas, para uma avaliação implícita de seu grau de envolvimento com sua prática docente. Assim, foi solicitado que indicassem como costumavam abordar os conteúdos, em sala de aula. Predomina a abordagem descritiva, seguida de resolução de exercícios (Tabela 4.8). Há evidências de que as abordagens relatadas nas respostas ao questionário sejam muito semelhantes àquelas observadas nas aulas assistidas. Em relação à terceira questão, em que os professores deveriam comentar se os estudantes, para aprender Química Orgânica, necessitavam de alguma habilidade específica, verificou-se que, quase na sua totalidade, os professores afirmam que a habilidade de visualizar estruturas de moléculas no espaço é fundamental.

Tabela 4.8. Forma de abordagem de conteúdos priorizados.

Categoria	Forma de abordagem de conteúdos	Porcentual de professores (%)
1	Abordagem descritiva, com ênfase em aspectos mecanísticos e resolução de exercícios	70
2	Abordagem mais conceitual sem dar muita atenção às particularidades	10
3	Explorar exemplos do cotidiano	10

4	Utilizar as representações de diversas formas	10
---	---	----

No entanto, na questão 04, em que deveriam informar se, durante as aulas, eles fazem uso de ferramentas de visualização, os professores apenas dizem que usam tais ferramentas quando é necessário demonstrar algum aspecto espacial das estruturas moleculares, ou seja, quando é necessária uma melhor percepção das moléculas no espaço. Por outro lado, alguns professores (30%) afirmam que os estudantes deveriam ter acesso e usar ferramentas computacionais e modelos moleculares durante as aulas, enquanto a maioria (70%) afirma que os alunos deviam ter acesso a tais ferramentas em outros espaços.

Questões relativas à noção estrutural em Química

Na questão 01, os professores deveriam informar quais tipos de representações estruturais são mais utilizadas durante as aulas. Nesse aspecto, as respostas dos professores foram muito semelhantes. As representações estruturais mais utilizadas se referem a fórmulas estruturais (em forma de linhas, traços e tridimensionais), mecanismos de reações, estereoquímica e ângulos de ligação. Em relação às fórmulas estruturais, a maioria indica preferência pelo uso da forma de linhas de ligação. Por outro lado, na questão 02, que trata do papel da representação no ensino de Química Orgânica os professores apresentam diferentes visões, como pode ser verificado na Tabela 4.9.

Tabela 4.9. Papel da representação no ensino de Química Orgânica.

N. da categoria	Visões dos professores sobre o papel das representações na Química Orgânica	Porcentual de professores (%)
1	É a linguagem oficial adotada na Química Orgânica	20
2	Facilitar o processo de ensino e de aprendizagem	20
3	Modelos visuais de como as moléculas estão organizadas	30
4	Fornecer informações sobre a substância que ela representa	30

Mesmo apresentando diferentes visões para o papel da representação no ensino de Química Orgânica é possível perceber que todas convergem para um mesmo ponto. As representações são uma forma de linguagem que, descreve transformações químicas através de modelos, representados por fórmulas estruturais, equações, gráficos e figuras (ROQUE; SILVA, 2008). Embora haja esse consenso, é interessante que não se perceba um esforço consciente nas seqüências didáticas (episódios de aula) que foram observadas, no sentido de que os alunos viessem a se apropriar dessa linguagem.

Na questão 03, os professores deveriam construir a forma representacional que eles mais utilizam para representar o propanol, tendo sido unânimes em indicar a representação em forma de linhas de ligação (Figura 4.57). Os resultados apresentados na Tabela 4.10 referem-se à Questão 04, em que deveriam indicar suas idéias sobre o que é uma molécula.

Figura 4.57. Representação para a molécula de propanol na forma de linhas de ligação.

Tabela 4.10. Frequência das formas de pensar em relação ao conceito de molécula.

N. da categoria	Visões dos professores sobre o o conceito de molécula	Porcentual de professores (%)
1	É um conjunto de átomos que constitui a menor unidade da matéria, preservando suas propriedades	60
2	É a menor unidade de uma substância	30
3	É a interação de átomos com uma organização e arranjos adequados para adquirir estrutura estável	10

Semelhante às concepções dos estudantes, a análise das respostas dos professores também permitiu que se identificassem concepções realistas acerca da existência material das entidades químicas (átomos, ligações químicas e moléculas, por exemplo), embora não tenham sido feitas entrevistas que permitam verificar se ontologicamente essa concepção é semelhante àquela da comunidade dos físicos (SCERRI, 2000/ SCERRI, 1991/ LABARCA, 2010/ ADÚRIZ-BRAVO; LABARCA; LOMBARDI, 2010/ PSARROS, 1998). Em alguns casos, é possível identificar concepções substancialistas, como bem definidas no estudo de Oliveira (1995), sobre definições de moléculas apresentadas em livros didáticos, onde há conceitos tais como:

“a menor parte da substância capaz de guardar suas propriedades”. A partir de definições desse tipo, a idéia transmitida ao estudante é a de que o constituinte isolado (molécula) contém em si os atributos do todo. Entretanto, como dizer que a molécula de água possui densidade, pressão de vapor, tensão superficial, pontos de fusão e ebulição etc? Tais propriedades pertencem ao conjunto, isto é, manifestam-se nas relações que as moléculas mantêm entre si (OLIVEIRA, 1995, p. 9).

Essa noção de molécula substancialista pode acarretar outros problemas como alguns descritos na literatura (TABER, 1996; 1998/HARRISON; TREAGUST, 1996/ RENSTRÖM; ANDERSSON; MARTON, 1990).

Nessa perspectiva, que não é a única, as moléculas e os elétrons representados nos livros didáticos e discutidos em sala de aula são modelos (OLIVEIRA, 1995/ TABER, 1996/ MENDONÇA; JUSTI, 2010). Uma das principais formas em que estes modelos são utilizados na Química é fornecer explicações teóricas em nível molecular para fenômenos observados em nível macroscópico. Entretanto, devido à abordagem implícita ou explícita da maioria dos livros e professores da área de Química, os estudantes geralmente adquirem uma noção muito simplista do papel dos modelos na ciência, como se pode depreender pela análise de suas respostas à questão.

As questões 05 e 06, que tratavam do significado de representação estrutural da molécula e do significado para uma estrutura química, foram respondidas de maneira similar pela maioria dos professores. Em síntese, essas respostas indicam que a representação estrutural de uma molécula é a forma que temos para representá-la graficamente e que seu significado é a própria representação gráfica.

Na questão 07, os professores deveriam explicitar o que entendem por visualização espacial. A resposta predominante entre os professores foi a de que visualização espacial é a capacidade de imaginar objetos em três dimensões e a distribuição espacial dos átomos, segundo diferentes ângulos.

Na questão 08, foi solicitado aos professores que respondessem em quais tópicos consideram a capacidade de visualização espacial mais importante nos processos de ensino e aprendizagem. Alguns professores apontam que o domínio dessa habilidade é gradativo e que se inicia na Química Geral, com a construção de modelos moleculares, sendo mais necessário no tópico de estereoquímica e na análise conformacional, quando há necessidade de se construírem modelos tridimensionais para a compreensão da relação entre a estrutura e a reatividade dos compostos.

Na última questão, que tinha o objetivo de identificar a importância atribuída pelos professores ao uso das ferramentas de visualização, foi possível verificar que, embora a maioria deles empregue ferramentas de visualização, apenas alguns permitem seu uso durante as provas. Alguns estudos sobre habilidades visuo-espaciais (**HVE**) indicam que sujeitos com baixa **HVE** repetem, por exemplo, o processo de rotação várias vezes, pois esquecem determinadas representações intermediárias envolvidas no processo, o que exige o reinício do mesmo enquanto aqueles com alta **HVE**

apresentam tal capacidade mais desenvolvida e dificilmente rotacionam a mesma imagem mais que uma vez. (KAUFMAN, 2007/ SHELTON; McNAMARA, 2001a/ SHELTON; McNAMARA, 2001b). Há, também, trabalhos apontando não só, mas principalmente, as diferenças de gênero como uma das variáveis de maior influência no desempenho de tarefas que requerem habilidades cognitivas espaciais. Além do gênero, fatores ambientais (biológicos, culturais, sociais e educacionais), idade, estilos de aprendizagem, especializações cerebrais, velocidade na execução de tarefas e eficiência têm sido estudados na tentativa de explicar tais diferenças de comportamento e desempenho (GORSKA; JUSCAKOVA, 2003/ VELASCO, 2002/ CAMPOS, 2001/ STRONG; SMITH, 2001/ GORSKA; SORBY; LEOPOLD, 1998/ DENO, 1995)

Embora seja comprovado que o uso de ferramentas de visualização auxilia na compreensão e resolução de problemas que requerem altas **HBV**, ainda não existe um consenso na literatura em relação a essas ferramentas, proporcionarem, ou não, o desenvolvimento dessas habilidades. Desse modo, seria importante que os professores permitissem o uso de modelos moleculares ou de ferramentas virtuais na resolução de exercícios ou de avaliações, visto que permitiria que estudantes com baixa **HVE** conseguissem realizar a tríade pedagógica em relação às estruturas químicas, em quaisquer condições em que devam mostrar sua habilidade de resolver esse tipo de problema. Como observado por Kozma e Russell (2005, p. 129) "*o significado de uma representação não está incorporado na representação em si, mas é atribuído à representação através da sua utilização na prática*".

4.4 - Comparação dos resultados obtidos a partir das diferentes fontes de coleta de informações

Por meio da triangulação das diferentes fontes de informações, foi possível identificar que muitos estudantes apresentam dificuldades de: i) construir representações adequadas de estruturas moleculares; ii) relacionar essas representações com as propriedades macroscópicas do material; iii) decodificar as principais informações contidas nas representações estruturais; iv) conectar diferentes representações para compreender conceitos de Química Orgânica, v) além de terem concepções realistas acerca da existência material das entidades químicas (átomos, ligações químicas e moléculas, por exemplo). Também foi possível verificar que, entre os professores de Química Orgânica, não é dada a devida importância aos aspectos representacionais, ou seja, às questões relacionadas à noção estrutural em Química.

Os dados analisados sugerem que os professores não enfatizam os aspectos representacionais no ensino dessa disciplina: as aulas são, em sua grande maioria, voltadas ao estudo de um determinado conceito, com muita ênfase na execução e solução exercícios. Eventos explicativos prevalecem nas aulas e, na maioria das vezes, os professores são pouco interativos. O uso de modelos moleculares ou virtuais é apenas apresentado aos estudantes, não se verificando aulas específicas para trabalhar aspectos representacionais (*percepção, relação e conceituação*). Há uma tentativa por parte dos professores em minimizar as dificuldades dos estudantes em alguns aspectos que envolvem visão espacial, no entanto, são pontuais e sem a devida discussão e reflexão.

Destes resultados e de observações informais dos índices de retenção relativamente altos associados às disciplinas de **QO** (Química Orgânica) em diversas **IES**, o que se impõe é compreender essas dificuldades dos estudantes na aquisição dessa nova linguagem, a da Química e, mais especificamente, a da **QO**.

De acordo com a Semiótica Peirceana, o uso dos signos que migram da predominância indexical à icônica, sempre imbuídos de elementos simbólicos é que permite que a realidade seja construída e (re)construída. E, em relação à Química, a realidade ontológica dos entes químicos também é construída por meio de evidências experimentais e modelos teóricos. Por exemplo, o interpretante (estrutura molecular do etanol) advém de uma série de semioses realizadas ao longo do tempo por meio de observações, descrições e explicações. Segundo a semiótica, o acesso às entidades químicas (átomos, moléculas) é mediado pelas interações (signos) que são estabelecidas: *“só percebemos aquilo que estamos equipados para interpretar”* de forma que, para ler o signo, e distinguir um signo de outro, são necessárias percepções sutis e familiares para aqueles que estejam habituados às aparências e às convenções do sistema de signos (PEIRCE, 2005).

Em outras palavras, para conhecer o objeto, antes de tudo é necessária a experiência prévia desse objeto individual. Assim, em relação à aprendizagem de Química Orgânica, ou seja, em relação aos estudantes, pode-se afirmar que o acesso aos entes químicos envolve, necessariamente, processos semióticos, ou seja, as representações construídas pelo estudante entram em interação com o composto químico e os fenômenos que elas representam. Portanto, pode-se afirmar que há uma forte relação entre as representações (e o conteúdo de informações associado a elas) e as dificuldades que os alunos apresentam na resolução de problemas na disciplina de Química Orgânica.

De fato, Lemke (2002) afirma que a leitura de uma figura, diagrama ou imagem em ciência é um trabalho árduo, principalmente enquanto os alunos não adquirem a habilidade de transitar entre as várias linguagens empregadas pela ciência. Logo, a abordagem do ensino de noções estruturais em Química Orgânica deveria considerar a construção (significação) das representações pelos estudantes e não apenas o conteúdo científico do currículo.

Portanto, o presente estudo sugere que há necessidade de se construírem estruturas de apoio pedagógico, que possam facilitar a compreensão dos estudantes sobre o papel e a função das representações na Química Orgânica. Aulas pouco interativas, que seguem um padrão bem definido, com a descrição da função orgânica, suas propriedades e reatividades por meio da apresentação de estruturas de moléculas na lousa e/ou diapositivos são insuficientes. Geralmente, se espera que os estudantes reconheçam as estruturas **3D** com base nas representações **2D** e que sejam capazes de compreender os conceitos interpretando os diagramas apresentados. É necessário deixar claro que os modelos, os diferentes diagramas, não correspondem à realidade, mas são visualizações ou idéias elaboradas a partir de informações científicas, medições e cálculos matemáticos.

O avanço das tecnologias de informação e comunicação proporciona a criação de signos cada vez mais semelhantes, se não ao objeto “real” (objeto dinâmico), ao menos às teorias que servem de suporte para sua construção, o que acarreta um caráter mais icônico, criando possibilidades de manipulação do signo para obter novos interpretantes sobre um mesmo ente químico, ou seja, múltiplas representações para um mesmo composto.

Os professores precisam reconhecer que as explicações que são dadas nas aulas de Química Orgânica são multimodais. Geralmente, há combinação da linguagem oral a elementos da linguagem gráfica, da linguagem gestual e da linguagem formal da matemática atuando sobre o mesmo objeto de estudo. Precisam reconhecer que as explicações elaboradas durante as aulas de Química são construções semióticas, pois são caracterizadas por diferentes modos comunicativos. Precisam reconhecer que a linguagem química é muito específica, pois cada símbolo encerra um número muito grande de significados, não só de nomes das transformações químicas das substâncias, mas também de propriedades e de características implícitas que permitem codificações que se convertem em elementos de pensamento e comunicação.

Na literatura sobre o tema, é reconhecido que há uma linguagem específica para a Química e que, portanto, o domínio dessa disciplina depende do domínio de sua linguagem. Não bastam apenas conhecimentos conceituais sobre os fenômenos e as transformações químicas, são necessários, também, conhecimentos linguísticos, semânticos, esquemáticos, operacionais e representacionais para poder avançar nos processos de ensino e aprendizagem da Química. Tal linguagem não pode ser apenas um meio de se expressar, mas é também um instrumento para se construírem idéias e conceitos científicos, ou na perspectiva da semiótica peirceana, para a geração de signos interpretantes.

Na análise das questões das provas realizadas pelos estudantes, identificou-se uma enorme demanda de representações que envolvem operações visuo-espaciais, ou seja, capacidade de visualização e manipulação mental de estruturas moleculares no espaço. Os estudantes deviam compreender o conteúdo conceitual envolvido nas representações simbólicas e, para tanto, deveriam perceber, relacionar e conceituar por meio da construção de diagramas. Os estudantes apresentam dificuldades em construir representações adequadas para determinados entes químicos, para reconhecer padrões tridimensionais para determinados grupos, na orientação espacial e, conseqüentemente, dificuldade de visualizar efeitos operatórios tais como rotação, reflexão e inversão de estruturas moleculares mentalmente.

O uso de intervenções didáticas específicas e apropriadas relacionadas aos sistemas de representações, para construir conceitos científicos em toda sua complexidade, como, por exemplo, ambientes de aprendizagem mais ativos, em que os alunos participem do processo de aprendizagem, façam uso das ferramentas computacionais, dos modelos físicos e tenham oportunidade de manipulá-los (Perceber), construir moléculas para depois representá-las no espaço (Relacionar) pode ser um caminho para que compreendam os conceitos científicos envolvidos (Conceituar). Também, é fundamental que os professores conheçam e dominem as linguagens da mídia, a dinâmica dos softwares educativos com toda sua potencialidade, pois não se pode esquecer que a mídia digital entrou em cena há muito tempo e tem muito a contribuir para os processos de ensino e aprendizagem de Química Orgânica. De acordo com Habraken (1996), se tem deixado de lado o componente visual e espacial na aprendizagem de Química devido à crença, de muitos professores, de que basta o pensamento lógico-matemático para a aprendizagem de conceitos científicos. Esses professores consideram as imagens na Química apenas ilustrações, não levando em consideração que as representações

estruturais em Química constituem-se, por si mesmas, em uma linguagem altamente estruturada.

Já é quase um truísmo dizer que manusear programas de simulação que permitem variar determinados parâmetros é considerado como uma forma de “aprender explorando”, o que significa um aspecto muito positivo para os processos de ensino e aprendizagem. O conhecimento escolar é preponderantemente verbal, o que acaba produzindo iletrados visuais. Não podemos mais negligenciar que a construção de significados em sala de aula combina vários modos (verbal, visual, textual, auditivo, movimento, por exemplo) e que todos fazem parte de um sistema.

Representações são mediadores em processos de argumentação e construção de idéias científicas na sala de aula e, portanto, devem-se identificar quais são seus limites e possibilidades no ensino e aprendizagem de conceitos científicos. Também não se pode esquecer que toda representação necessita ser elaborada, por ser fruto de construções humanas, sendo possíveis diferentes modos de representação para um mesmo objeto, cujos aspectos podem ser estáticos ou dinâmicos. E, talvez o mais importante, fazer com que os estudantes entendam que uma dada realidade pode ser representada ou modelada mediante diferentes modos de representação e que eles devem desenvolver habilidades de transitar entre esses diferentes modos, compreendendo as vantagens e limitações de cada um deles, em diferentes contextos. As dificuldades em aprender representações químicas residem no fato dos estudantes não interpretarem seu significado químico, ou ainda, terem dificuldades de se expressar por meio do uso de modelos (KOZMA; RUSSELL, 1997).

Nesta análise das fontes, é possível perceber que, tanto no caso dos estudantes como no dos professores, há muito que avançar em relação à noção estrutural em Química e sua linguagem. Há necessidade de se compreender melhor o papel das representações no ensino de Química, em especial na Química Orgânica e, de como o processo de representação pode auxiliar no processo de elaboração conceitual dessa disciplina, principalmente no que se refere à relação entre aspectos conceituais e representacionais na geração de novos signos interpretantes.

CAPITULO 05

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Conclusões e considerações finais

Neste estudo, buscou-se uma aproximação entre as Ciências Cognitivas e a Semiótica Peirceana, para propor uma explicação para as dificuldades apresentadas por sucessivas turmas de estudantes de graduação em disciplinas de Química Orgânica, em várias **IES**. A hipótese subjacente a esta abordagem é a de que esta perspectiva facilitaria interpretar como estudantes de cursos de graduação estabelecem a Tríade Pedagógica (Perceber-Relacionar-Conceituar), na geração de interpretantes dinâmicos sobre os sistemas simbólicos envolvidos na aprendizagem de conceitos de Química Orgânica.

Na perspectiva deste trabalho, considera-se que o emprego de representações em Química constitui, por si mesmo, uma linguagem altamente estruturada, que deve ser aprendida pelos estudantes, para que possam compreender e expressar os conhecimentos nesse campo do saber. Alguns estudos têm mostrado que, em processos de aprendizagem, os alunos elaboram algum tipo de construção simbólica (imagens, figuras, esquemas e diagramas, por exemplo) com a finalidade de identificar e relacionar a informação e, desse modo, torná-la mais significativa. Kleinman, Griffin e Konigsberg (1987) sugerem que os alunos podem apresentar dificuldades em aprender Química devido a não estabelecerem relações entre os componentes conceituais e visuais (como imagens, esquemas, diagramas ou figuras mais adequadas para aquela determinada situação) do conhecimento apresentado a eles. Para Habraken (1996), o problema é que os aspectos conceituais e lógico-matemáticos têm sido favorecidos, no ensino de Química, em detrimento dos componentes visuais, parecendo haver, entre os professores, um consenso de que os signos (imagens, figuras, diagramas) amplamente empregados na comunicação do conhecimento químico sejam meras ilustrações. Em raras situações percebe-se, entre eles, abordagens didáticas que explorem as potencialidades de ferramentas de visualização ou de quaisquer outras ferramentas que permitam a realização da Tríade Pedagógica sobre aspectos representacionais em aulas de Química. Em síntese, aprender Química é aprender uma nova linguagem.

Entretanto, não existe conhecimento no texto, na figura, no diagrama ou na ilustração, o que existe são manifestações linguísticas de conceituações. Acredita-se que é possível transmitir conhecimento através de uma imagem, da língua natural, da linguagem computacional, por exemplo. Mas, para tanto, são necessários processos que permitam perceber, relacionar, organizar e representar esse conhecimento com maior ou menor grau de complexidade e é, nesses pontos, que a Semiótica Peirceana se apresenta como uma nova perspectiva de olhar para o processo de construção do conhecimento químico, permeado por signos.

Na perspectiva da Semiótica Peirceana, a representação é vista como um conteúdo apreendido pelos sentidos, pela memória, pela imaginação, pelo pensamento, o que caracteriza a semiótica como a “Teoria Geral dos Signos” ou “Teoria Geral das Representações”. Na concepção de Peirce, um signo é aquilo que representa algo para alguém, sendo percebido (a) sob algum de seus aspectos ocupando o lugar de alguma outra coisa, em lugar do ente em si, ou seja, só se percebe (m) aquilo que se está a capacitado a interpretar (PEIRCE, 2005).

Para que o signo seja capaz de mediar o processo de produção de significados (interpretantes) aceitos por determinada comunidade científica é preciso considerar os fatores relacionados ao intérprete (estudante): conhecimento dos conteúdos (*Perceber*), regras e habilidade para estabelecer relações entre signo-referente e signo-interpretante (*Relacionar*) para poder atribuir significados (*Conceituar*). Em geral, na disciplina de Química Orgânica, as regras dependem dos marcos conceituais e da relevância da ontologia no processo de descrição do mundo físico para que seja possível raciocinar e agir sobre ele. Desse modo, a Semiótica Peirceana é uma forma de olhar os processos de ensino e aprendizagem da disciplina de Química Orgânica e refletir sobre eles. Nesse olhar (Figura 5.1), a representação é vista como um processo mediado, dinâmico e sistêmico.

Figura 5.1. Modelo do processo de construção de significados na tríade pedagógica (adaptado de Souza, 2012).

No que se refere, mais especificamente ao Ensino de Química, Alex H. Johnstone, professor do Departamento de Química da Universidade de Glasgow, em diversos artigos (JOHNSTONE, 1982; 1993; 2000; 2010) foi um dos primeiros pesquisadores a propor um modelo de explicação para a representação do conhecimento químico, em que propõe três diferentes níveis para essa representação. Essencialmente, nesse modelo, foi proposto um nível sensorial ou perceptivo (nível macroscópico), um nível molecular ou exploratório (nível submicroscópico) e um terceiro nível, o representacional (nível simbólico).

Nessas três décadas, o triângulo de Johnstone tem atraído uma série de seguidores como, por exemplo, o grupo de pesquisa coordenado por Treagust, que tem publicado trabalhos con-

cernentes à habilidade de modelização e sua relação com o nível de representação submicroscópico proposto por Johnstone (TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2003/ CHITTLEBOROUGH; TREAGUST, 2007/ CHANDRASEGARAN; TREAGUST; MOCERINO, 2007). Nesses trabalhos, investigou-se o papel dos modelos físicos como instâncias mediais simbólicas, no estabelecimento, entre estudantes (14 a 16 anos), de relações entre os níveis de representação macroscópicos, submicroscópicos e representacionais.

Há trabalhos que procuram modificar o modelo proposto por Johnstone, como é o caso daquele de Rappoport e Ashkenazi (2008) que propõem alterar os níveis de representação de Johnstone para níveis de abstração e o caso de Talanquer (2011), que propõe uma divisão entre o nível experimental (macroscópico/experiências) e o representacional (submicroscópico e simbólico/modelo e visualização). Todavia, a partir de 2010, começam a surgir alguns estudos na literatura questionando o modelo de Johnstone, como é o caso do trabalho de Labarca (2010) que afirma que há equívocos filosóficos associados à confusão entre os planos de argumentação, ou os três níveis de representação propostos por Johnstone (1982, 1993, 2000 e 2010). Para esse autor, Johnstone, em seu modelo, confunde o plano ontológico com os planos linguístico/conceitual e matemático. Para Labarca (2010), planos diferentes não poderiam estar representados como vértices em um mesmo triângulo, ou seja, como planos equivalentes. Esse autor argumenta que deve haver distinção entre o que está relacionado ao sujeito (itens linguísticos e conceituais como conceitos, leis e teorias) e o que está relacionado ao objeto (itens ontológicos como entes químicos e propriedades). No plano ontológico, pode haver níveis distintos, tanto o nível macroscópico como o nível submicroscópico e, no plano linguístico e conceitual, podem estar leis, descrições, teorias e, um terceiro plano, o matemático, que corresponde às manipulações matemáticas de itens linguísticos. As ontologias não podem ser extraídas automaticamente de um texto, de uma figura ou de um diagrama, por exemplo, uma vez que a ontologia obedece a um determinado processo de construção envolvendo, por exemplo, o consenso de uma comunidade científica.

Desse modo, acredita-se que a valorização dos aspectos de mediação (Tríade pedagógica: perceber, relacionar e conceituar) em aulas de Química Orgânica poderá contribuir na superação de algumas dificuldades metodológicas e epistemológicas relacionadas aos entes químicos (itens ontológicos), não apenas no que se refere a sua existência, mas também às suas consequências de asserção, de que a realidade molecular é a causa dos fenômenos e não uma explicação para eles.

Tal fato poderia ser melhor compreendido na relação entre o objeto dinâmico e o objeto imediato, pois, de acordo com a Semiótica Peirceana, poder-se-ia afirmar ser a maneira atra-

vés da qual um intérprete (estudante) acessa a realidade (objeto dinâmico). Como é possível perceber apenas parte do objeto através da mediação de signos, tem-se, apenas, uma percepção parcial (objeto imediato) dele. Tal abordagem contribui para a compreensão da atividade científica como processo de permanente construção, interpretação e significação, influenciado pelo contexto. Dessa maneira, a percepção do processo de construção do conhecimento químico, na perspectiva da semiótica Peirceana, permite a superação de alguns problemas ontológicos relacionados à representação de entes químicos, como é o caso, por exemplo, do triângulo de Johnstone (Figura 2.4), em que há envolvimento de planos equivalentes de argumentação e representação.

Já na perspectiva da semiótica, a realidade é mediada pelas interações entre signos (signo, objeto e interpretante). Em outras palavras, o signo representa o objeto; o objeto determina o signo e o interpretante é determinado imediatamente pelo signo e mediatamente pelo objeto.

De acordo com Peirce (2005), o real, como interesse científico, encarna-se na figura de um objeto dinâmico externo à própria ciência, funcionando como princípio regulador que dá ao conhecimento sua coesão e permite a aprendizagem pelos sujeitos. Ao mesmo tempo, porém, esse mesmo real expressa-se nos objetos imediatos veiculados pela representação. Para Peirce, a verdade vai se revelando aos poucos no processo científico de descoberta e experimentação com a realidade. É desse modo que a realidade (objeto dinâmico) e a realidade representada (objeto imediato) têm uma conexão necessária que nos impele a vê-las como interligadas. A realidade é mais do que aquilo que pode ser vislumbrado, para Peirce, *“ela é experimentada, provada, tocada, por exemplo”*. O signo se relaciona com seu objeto por meio de uma qualidade, que pode ser interna (ícone), relativa (índice) ou imputada (símbolo).

Ao retornar aos objetivos centrais elencados para esta pesquisa, ou seja, identificar e descrever, durante um curso da disciplina de Química Orgânica para alunos de graduação em Química, como se estabelece a relação entre estudantes, professores e as diferentes estratégias de comunicação usadas no desenvolvimento conceitual dessa ciência, na busca de identificar e interpretar o processo de perceber, relacionar e conceituar sobre os sistemas simbólicos, na aprendizagem de conceitos de Química Orgânica, podem-se tecer várias considerações.

Na perspectiva de uma abordagem semiótica, as representações foram interpretadas considerando-se os níveis de relações (perceber, relacionar e conceituar) estabelecidos pelos signos e efetivados pelos alunos (intérpretes), o que implica em observar as relações ou generalizações conceituais emitidas por eles durante suas ações (por exemplo, resolução de exercícios, questões em provas, perguntas em aulas), as quais possibilitam que se observem elementos indicativos do seu pensar. Utilizou-se a qualificação da própria sala de aula como nú-

cleo de uma rede de atividades para a formulação de situações de estudo, opção que reside na oportunidade que a sala de aula apresenta como meio de intercomunicação, na qual o professor apreende as participações de cada aluno em relação a um conjunto de atividades propostas ou negociadas (estratégias de comunicação – perceber). Na sala de aula, é o professor que determina o conteúdo, a forma e as ferramentas que serão utilizadas nos processos de ensino e aprendizagem de determinado conceito. No decorrer do curso de uma disciplina são propostos problemas, exercícios, testes, provas, seminários, situações de estudo, que vão ser ampliados por atividades que também se prolongam fora da sala de aula.

O modelo metodológico adotado foi construído a partir de quatro momentos ou tipos de atividades que compuseram a rede de situações de estudo: (i) observação sistemática nas disciplinas de **Química dos Compostos Orgânicos I** e **Química dos Compostos Orgânicos II**; (ii) estudo das avaliações utilizadas pelos professores em suas disciplinas; (iii) análise das respostas dos alunos às avaliações; iv) questionário aplicado a professores e estudantes, com duas questões, uma envolvendo os conteúdos relativos ao ensino de Química Orgânica e, a outra, envolvendo os conteúdos relativos à noção estrutural em Química.

Como respostas às questões iniciais da pesquisa, a partir da análise das diferentes fontes de informações pode-se afirmar que em relação a tríade pedagógica (Perceber – Relacionar – Conceituar) há uma série de lacunas que precisam ser preenchidas. Em relação ao Perceber observa-se que os professores, ao utilizarem diferentes estratégias de comunicação, não consideram os aspectos visuais e representacionais tão importantes quanto os aspectos conceituais no ensino de Química Orgânica, ou seja, aspectos relacionados à mediação e à representação em aulas de Química Orgânica são, ainda, pouco valorizadas durante as aulas. Verificou-se, na análise dos episódios, poucas ou quase inexistentes atividades direcionadas exclusivamente à abordagem de conteúdos representacionais. Além disso, identificaram-se professores com concepções realistas acerca da existência material das entidades químicas, que responsabilizam os estudantes e a própria disciplina pelas dificuldades de aprendizagem, embora se perceba que há uma pequena parcela de docentes que se percebem, também, como causa do problema.

Em relação ao Relacionar e Conceituar, identificou-se entre os estudantes, uma série de dificuldades para estabelecer as devidas relações entre os signos (Perceber) que são apresentados pelo professor na forma de diagramas, esquemas, textos, gráficos, por exemplo (estratégias de comunicação). Há dificuldade dos estudantes na compreensão do conteúdo conceitual contido nas diferentes representações simbólicas (estudantes com baixas habilidades visuo-espaciais têm inconvenientes para transformar a informação verbal em representação visual).

Também houve dificuldades na compreensão do conteúdo conceitual contido nas representações estruturais, principalmente dificuldades de conversão, ou seja, realizar conversões entre diferentes formas de representação para um mesmo composto. Também, identificou-se que os estudantes apresentam concepções realistas acerca da existência material das entidades químicas.

Dos resultados desta investigação, pode-se claramente defender que a questão do processo de representação, no contexto dos processos de ensino e aprendizagem da Química Orgânica é muito mais do que incluir um novo tema ou um novo tópico de conteúdo nos programas das disciplinas. Considerar os processos de ensino e aprendizagem de conceitos de Química Orgânica na perspectiva da Semiótica Peirceana requer uma mudança de perspectiva mais geral, em que a representação seja concebida como um sistema de significação, uma forma de atribuição de sentido e de elaboração conceitual. Requer que a sala de aula seja vista como um espaço de relações entre signos, objetos e interpretantes pois, de acordo com a Semiótica Peirceana as coisas (modelos moleculares, figuras, desenhos, diagramas, por exemplo) se apresentam e não representam. Para Peirce, os signos são traduzidos como processos de mediação, portanto a representação é o próprio processo de mediação. É o objeto (objeto dinâmico) que gera um signo (objeto imediato) para um interpretante (interpretante dinâmico) ou um novo signo. As estratégias de comunicação (ferramentas gráficas ou computacionais), nessa perspectiva, são utilizadas para ampliar, melhorar ou tornar mais eficiente o processo de percepção sobre o objeto. Toda percepção adiciona algo novo ao percebido que pode ser interpretado como um processo de significação ou de compreensão. Daí a necessidade de diferentes estratégias de comunicação, do uso de multimodos de representação de maneira a proporcionar aos estudantes possibilidades de construção de múltiplas representações sobre um mesmo ente químico.

A compreensão do processo semiótico na elaboração de construtos científicos leva à necessidade de valorização de aspectos relacionados à mediação nas aulas de Química Orgânica. Portanto, do ponto de vista dos processos de ensino e aprendizagem, tal disciplina requer uma mudança profunda que deve ocorrer no âmbito educacional, buscando uma formação docente onde se reflita sobre o corpo teórico da Química ser construído sobre uma linguagem própria, criada para representar o universo das transformações químicas.

As representações gráficas e pictóricas de um mundo abstrato de átomos, íons e moléculas são símbolos que, a todo o momento, estão presentes no enfoque teórico dessa ciência. As fórmulas químicas, os mecanismos e as equações químicas, além de funcionarem como ferramentas no trabalho do químico, cumprem, também, a função de linguagem, permitindo a mediação e a comunicação dos conteúdos.

Um exemplo de como tal processo pode ocorrer em uma aula de Química Orgânica está sintetizado no esquema apresentado na Figura 5.2.

Figura 5.2. Representação da tríade pedagógica em uma aula de Química Orgânica.

Em outras palavras, significa realizar um trabalho voltado especificamente sobre a linguagem química, ou seja, trabalhar temáticas, também, relacionadas a aspectos representacionais. Não apenas a incorporação do uso de ferramentas virtuais, modelos físicos de estruturas que abordem questões de habilidades visuo-espaciais, mas acima de tudo, o uso de diferentes estratégias de comunicação em processos de semiose (percepção, relação e conceituação), para que se construam interpretantes dinâmicos que, ao atuar como novos signos em novas semioses (processos de representação) atuem como legi-signos em seu fundamento.

Para tanto, é necessário dar condições em cada espaço e tempo, assim como das possibilidades de transformação dessas condições. Significa tratar essas temáticas de forma a contemplar os conhecimentos científicos estabelecidos, enriquecendo o conhecimento. Significa considerar que o estudante percebe os fenômenos e os representa, ou seja, é um precep-

tor/representador dos fenômenos. Significa considerar que as várias representações usadas na compreensão de um conceito têm relações entre si. Os signos (símbolos, imagens, diagramas, por exemplo) não podem ser considerados trivialmente inteligíveis e diretamente transparentes para os estudantes.

Quanto à aprendizagem de conceitos da Química Orgânica, esta não pode ser separada de como representá-los e do que significam. Toda palavra, figura, diagrama, equação ou simbolismo envolvido por detrás das ações e procedimentos, por exemplo, pertencem a um contexto, que é parte de uma troca de significados. Significados que são construídos e reconstruídos em um processo de semiose (geração de novos interpretantes). É importante destacar que Peirce, em sua semiótica, não abarca dicotomias. O processo de semiose é contextual e ocorre em uma dinâmica que nunca pára. Para cada interpretante gerado forma-se um novo signo que, por sua vez, gera um novo objeto imediato, outro objeto dinâmico e um novo interpretante. Como tal dinâmica é contínua, não há sentido falar em interno e externo e sim, em semiose infinita ou conhecimento em permanente construção.

Por fim, cabe ressaltar que este trabalho se desenvolveu no âmbito teórico, de reflexão, que foi enriquecido por atividades concretas em sala de aula com professores e estudantes de Química Orgânica. Portanto, cabe, nesse momento, dizer que toda essa reflexão se faz essencial se o intuito é promover, no contexto do ensino de Química Orgânica, uma mudança efetiva nos discursos levados para a sala de aula e replicados socialmente. Essa mudança não significará somente aceitar e incorporar as diferentes perspectivas oriundas da semiótica nas aulas de Química Orgânica, mas implicará também em uma outra postura frente às questões relacionadas à linguagem no processo de elaboração conceitual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÚRIZ-BRAVO, A. **Elementos de teoría y de campo para la construcción de un análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias**. Barcelona - Tesis (Maestría en Enseñanza de las ciencias). Universitat Autònoma de Barcelona, 1999.
- ADÚRIZ BRAVO, A.; GALAGOVSKY, L. **Modelos científicos y modelos didácticos em la enseñanza de las ciencias naturales**. Parte 1: Consideraciones Teóricas. Memorias de la X REF. Mar del Plata: Argentina, 1997.
- ALEXANDRE, D.S.; TAVARES, J.M.R.S. **Factores da percepção visual humana na visualização de dados**. Porto, 2007. Disponível em: <www.fe.up.pt/~tavares>. Acesso em: 24 agosto 2011.
- ALMEIDA, L.M.V.; SILVA, K.P.; VERTAUN, R. Sobre a categorização dos signos na semiótica peirceana em atividades de modelagem matemática. **Revista eletrônica de Investigación em Educación em Ciencias**, v. 6, n. 1, p.1-10, 2011.
- ANDRADE NETO, A. S.; RAUPP, D.; MOREIRA, M. A. **A evolução histórica da linguagem representacional química: uma interpretação baseada na teoria dos campos conceituais**. Anais do VII ENPEC. Florianópolis, 2007.
- ANJOS, E. I. **Modelos mentais e visualização molecular: uma estratégia para ensinar química orgânica**. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo, 2004.
- ARAUJO NETO, W.N. **Formas de uso da noção de representação estrutural no ensino superior de química**. São Paulo: Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação da USP, 2009.
- ARDAC, D.; AKAYGUN, S. Effectiveness of multimedia-based instruction that emphasizes molecular representations on students' understanding of chemical change. **Journal of Research in Science Teaching**, 2004. 317-337.
- AUSUBEL, D.P. **Educational psychology: a cognitive view**. New York, Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- BACHELARD, G. **A filosofia do não**. Lisboa: Abril Cultural, 1991.
- BACHELARD, G. **O novo espírito científico**. São Paulo: Abril Cultural, 1975.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Portugal: Edições 70, 2000.
- BARKE, H.D.; ENGIDA, E.T. Structural Chemistry and Spatial Ability in Different Cultures. **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, 2, n. 3, 2001. 227-239.
- BARKE, V.H.D. Probleme bei der Verwendung von Symbolen im Chemieunterricht, **Naturwissenschaft im Unterricht**, v. 30, n. 4, 1982, p. 131-133.
- BARNEA, N.; DORI, Y.J. Computerized Molecular Modeling – The New Technology for Enhancing Model Perception Among Chemistry Educators and Learners. **Chemistry Education Research and Practice in Europe**, 1, n. 1, 2000. 109-120.
- BASTOS, F.P.; MAZZARDO, M.D. Investigando as potencialidades dos ambientes virtuais de ensino: aprendizagem na Formação continuada de professores. **Novas tecnologias na educação**, 2, n. 2, 2004.

Referências bibliográficas

- BENARROCH, A. "**Curso de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias y la Tecnología**". En: La construcción del conocimiento científico. Universidad de Granada. 2005.
- BENSAUDE-VINCENT, B.; STENGERS, I. **A History of Chemistry**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1996.
- BOWEN, C.W. Representational systems used by graduate students while problem solving in organic synthesis. **Journal of Research in Science Teaching**, 24, n. 4, 1990. 351-370.
- BRAGA, M.M.; MIRANDA, C.O.B.; CARDEAL, Z.L. Perfil sócio-econômico dos alunos, repetência e evasão no Curso de Química da UFMG. **Química Nova**, 20(4), 1997. p. 438-444.
- BUNGE, M. **Teoria e realidade**. Tradução de G. Guinsburg. São Paulo: Perspectiva, 1974.
- BURKS, A.W. Peirce's Theory of Abduction. **Philosophy of Science**, v. 12, 1946.
- CAMPOS, M.L.A. **A organização de unidades de conhecimento: o modelo conceitual como espaço comunicacional para a realização da autoria**. Rio de Janeiro - Tese (Doutorado em Comunicação)- Univerisidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.
- CHANDRASEGARAN, A.; TREAGUST, D.; MOCERINO, M. An evaluation of a teaching intervention to promote students' ability to use multiple levels of representation when describing and explaining chemical reactions. **Journal of Research in Science Education**, 36, 2007.
- CHITTLEBOROUGH, G.; TREAGUST, D.F. The Modelling Ability Of Non-Major Chemistry Students And Their Understanding Of The Sub-Microscopic Level. **Chemistry Education Research and Practice in Europe**, 8, 2007. 274-292.
- CHIZOTTI, A. **Pesquisas em ciências humanas e sociais**. São Paulo: Cortez, 1995.
- CLAYDEN, J.; GREEVES, N. **Organic chemistry**. New York: Oxford , 2001.
- COELHO NETTO, J.T. **Semiótica, informação e comunicação**. São Paulo: Perspectiva, 2001.
- COLEMAN, S. L.; GOTCH, A.J. Spatial perception skills of chemistry students. **Journal of Chemical Education**, 75, 1998, 206-209.
- COPOLO, C.F.; HOUNSHELL, P.B. Using three-dimensional models to teach molecular structures in high school chemistry. **Journal of Science Education and Technology**, 4, 1995. 295-305.
- CORREIA, C.M.D.C. Fundamentos da Semiótica Peirceana. **Caderno Seminal Digital**, v. 9 , n 9, 2008. 76-92.
- COSTA, V. **Representações sociais e semiótica: um território em comum?** Acesso em 20/11/2010: http://www.eca.usp.br/caligrama/n_9/pdf/10_costa.pdf.
- COSTA, F.D.J.; COUTINHO, F.A.; CHAVES, A. **Carga cognitiva: concepções e expectativa dos professores do ensino médio e fundamental**. Anais do XV ENCONTRO NACIONAL DE DIDÁTICA E PRÁTICA DE ENSINO - XV ENDIPE. Belo Horizonte, 2010.
- CRESPO, I. **Análisis de las representaciones semióticas empleadas por los docentes en la enseñanza del equilibrio químico a nivel superior**, 2008. Disponível em: www.upel.edu.ve/congreso2008/archivos/cronograma.doc. Acesso em: 14 outubro 2010.

- DASTANI, M. The role of visual perception in data visualization. **Journal of Visual Languages and Computing**, 13, n. 6, 2002. 601-622.
- DAMM, R. F. **Registro de representação**. In: MACHADO, S. D. A. Educação. Matemática: uma introdução. São Paulo: Educ, p. 135-153, 1999.
- DEELY, J. **Semiótica básica**. São Paulo: Ática, 1990.
- DEL RE, G. Ontological status of molecular structure. **HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry**, 4, n. 2, 1998. 81-103.
- DENO, J.A. The relationship of previous experience to spatial visualization ability. **The Engineering Design Graphics Journal**, v.59, n. 3, 1995, 5-17.
- DENTZ, R.A. Percepção e generalidade em Charles Peirce. **Cognitio-Estudos: Revista Eletrônica de Filosofia**, São Paulo, v. 7, n. 1, 2010. 19-25.
- DESTEFANO, D.; LEFVRE, J.A. Cognitive load in hypertext reading: a review. **Computers in human behavior**, 23, 2007. 1616-1641.
- DORI, Y.J.; BARAK, M. Virtual and physical molecular modeling: fostering model perception and spatial understanding. **Educational Technology & Society**, 4, n. 1, 2001. 61-74.
- DRIVER, R.; NEWTON, P.; OSBORNE, J. The place of argumentation in the pedagogy of school science. **International Journal of Science Education**, 21, 5, 1999. 553-576.
- DUARTE, J.B. **O potencial comunicativo de imagens de divulgação científica CEFET-MG, 2008. () 155p**. Belo Horizonte - Dissertação de Mestrado - CEFET-MG: 2008.
- DUVAL, R. **Basic Issues for Research in Mathematics Education**. Proceedings of the 24th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, 55-70, 2000.
- DUVAL, R. **Registros de Representações Semióticas e Funcionamento Cognitivo da Compreensão em Matemática**. In: Alcântara Machado, Silvia D. (Ed.) *Aprendizagem Matemática: Representação Semiótica*. 4ª ed. São Paulo: Papirus, 11-34, 2008.
- EYSENCK, M.; KEANE, M. **Cognitive Psychology a student's handbook 2a reimpressão**. 2. ed. Lawrence Erlbaum Associates Ltda Publishers, 1990.
- ERIKSON, F. **Qualitative Research Methods for Science Education**. In: Fraser, B.J. e Tobin, K.G. (orgs.) *International Handbook of Science Education, Part One*, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- FANN, K.T. **Peirce's Theory of Abduction**. The Hague: Martinus Nijhoff, 1970.
- FERK, V.; BLEJEC, A.; GRIL, A. Students' understanding of molecular structure representations. **International Journal of Science Education**, 25, 2003. 1227-1245.
- FERRAZ, T.S. Dimensões da cognição na experiência semiótica. In: SANTAELLA, L.; JORGE, A.M. G. **As Contribuições de Peirce para as Ciências Cognitivas**. São Paulo: TIDD-PUC-SP, v. 11, 2009.
- FURIÓ, C.; AZCONA, R.; GUIASOLA, J.; RATCLIFFE, M. Difficulties in teaching the concepts of amount of substance and mole. **International Journal of Science Education**, v. 22, p. 1285-1304, 2000.

Referências bibliográficas

GABEL, D. Theory-Based teaching strategies for conceptual Understanding of chemistry. **Educacion Química**, 11, n. 2, 1998.

GALAGOVSKY, L.; BEKERMAN, D. La química y sus lenguajes : um aporte para interpretar errores de los estudiantes. **Revista eletrônica de la Enseñanza de las Ciências**, 8, 2009. 952-975.

GALAGOVSKY, L R. Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte I. El modelo teórico. **Enseñanza de las Ciencias** 22(2), 229-240, 2004a.

GALAGOVSKY, L R. Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte II. Derivaciones comunicacionales y didácticas. **Enseñanza de las Ciencias**, 22(3), 349-364, 2004b.

GALLEGRO BADILLO, R. Un concepto epistemológico de modelo para la didáctica de las ciencias experimentales. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 3, n. 4, artigo 4, 2004. Disponível em: <<http://www.saum.uvigo.es/reec>>.

GARCÍA, J.J.; PERALES, F.J. ¿Influye la formación académica de los estudiantes e su comprensión de las representaciones gráficas?. **Enseñanza de las Ciencias**, Volume extra, 2005.

GARCÍA, J. **La comprensión de las representaciones gráficas cartesianas presentes en los libros de texto de ciencias experimentales, sus características y el uso que se hace de ellas en el aula**. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. España, 2005.

GILBERT, J.K.; BOULTER, C.; RUTHERFORD, M. Models in explanations, part 1: horses for courses? **International Journal of Science Education**, 20, n. 1, 1998. 83-97.

GILBERT, J.K. **Visualization: a metacognitive skill in science and science education**. In GILBERT, J. K. (Ed.). Visualization in science education. Ed. Springer, 2005.

GIL, A.C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Editora Atlas. Capítulo 2: Métodos das Ciências Sociais.

GIORDAN, M. **Computadores e linguagens nas aulas de ciências**. Ijuí: Unijuí, 2008.

GIORDAN, A.; VECCHI, G. **As origens do saber: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos**. Trad. Bruno Charles Magne. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

GOIS, J. **Desenvolvimento de um ambiente virtual para pesquisa em representação química**. São Paulo - Dissertação de Mestrado - FEUSP, 2007.

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

GOODWIN, W.M. Structural formulas and explanation in organic chemistry. **Foundation Chemical**, n. 10, 2008. 117-127.

GOWIN, D.B. **Educating**. Ithaca, N.Y: Cornell University Press, 1981.

GORSKA, R. A.; JUSCAKOVA, Z. A. A Pilot Study of a New Testing Method for Spatial Abilities Evaluation. **Journal for Geometry and Graphics**, v.7, n.2, p. 237-246, 2003.

GORSKA, R; SORBY, S. A.; LEOPOLD, C. Gender Differences in Visualization Skills an International Perspective. **Engineering Design Graphics Journal**, v. 62, n.3,1998. 9-18,

GRANGER, G. G. **Filosofia do estilo**. São Paulo: Perspectiva, 1979.

GRECA, I.M.; MOREIRA, M.A. Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. **Science Education**, v. 86, n. 1, 2002. 106-120.

GUIRAUD, P. **A semiótica**. 4. ed. Lisboa: Presença, 1993.

GYSELINCK, V.; CORNOLDI, C. Visuospatial memory and phonological loop in learning from multimedia., 16,. **Applied Cognitive Psychology**, 16, 2002. 665-685.

HABRAKEN, C. Integrating into chemistry teaching today's student's visuespatial talents and skills, and the today's chemistry's graphical language. **Journal of Science Education and Technology**, 13, n. 1, 2004. 89-94.

HABRAKEN, C.L. Perceptions of chemistry: Why is the common perception of chemistry, the most visual of sciences, so distorted? **Journal of Science Education and Technology**, 5(3), 1996. 193-201.

HALL, S. "**The work of representation**". In: HALL, S. (org.) Representation. Cultural representation and cultural signifying practices. London/Thousand Oaks/New Delhi: Sage/Open University, 1997.

HALLIDAY, M. A. K. **El lenguaje como semiótica social**: la interpretación social del lenguaje y del significado. Bogotá, 1998.

HAN, J.; ROTH, W.; Chemical inscriptions in Korean textbooks: Semiotics of macro - and microworld. **Science Education**, v. 90, n. 2, pp. 173-201, 2006.

HARRISON, A.G.; TREAGUST, D.F. Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry. **Science Education**, 1996. 509-534.

HEGARTY, M.; CARPENTER, P.A.; JUST, M.A. Diagrams in the comprehension of scientific texts. In: BARR, R., et al. **Handbook of Reading Research**. New York: Longman, v. 2, 1991. p. 641-668.

HESSLEY, A. A. Computacional Investigacions for Undergraduate Organic Chemistry: Modeling Markovnicov and anti-Markovnicov Reactions for the Formation de Alcohols. **Journal of Chemical Education**. 77(6): 794-797, 2000.

HOFFMANN, R. **O mesmo e o não mesmo**. 1. ed. São Paulo: UNESP, 2007.

HOFFMANN, R.; LASZLO, R. Representation in chemistry. **Angewandte Chemie International**, 30, n. 1, 1991. 1-16.

IACHEL, G. **Um estudo exploratório sobre o ensino de Astronomia na formação continuada de professores**. Bauru-SP: Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) - Faculdade de Ciências, UNESP, 2009.

IBRI, I. **Kósmos Noëtós**: a arquitetura metafísica de Charles S. Peirce. São Paulo: Perspectiva, 1992.

JACOB, C. Interdependent Operations in Chemical Language and Practice. **HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry**, 7, n. 1, 2001. 31-50.

JOHNSTONE, A. H. Macro and Microchemistry. **School Science Review**, 64, n. 227, 1982. 377-379.

Referências bibliográficas

- JOHNSTONE, A. H. Teaching of chemistry: logical or psychological?. **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, 1, n. 1, 2000. 9-15.
- JOHNSTONE, A. H. The development of chemistry teaching. **Journal of Chemical Education**, 70, n. 9, 1993. 701-705.
- JOHNSTONE, A. H. 'You can't get there from here', **Journal of Chemical Education**, 87(7), 2010. 22-29.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental models**. Cambridge University Press, 1983.
- JORGE, A. M. G. **Introdução à percepção: entre os sentidos e o conhecimento**. São Paulo: Paulus, 2011.
- JORGE, A. M. G. **Topologia da Ação Mental: Introdução à Teoria da Mente**. São Paulo: Paulus, 2006.
- KATZ, M. Teaching Organic Chemistry via Student-Directed Learning. **Journal of Chemical Education**, v. 73, n. 5, p. 440, 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, 2007, 211–223.
- KEIG, P.F., RUBBA, P.A. 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**, 30, 1993, 883-903.
- KERMEN, I.; MÉHEUT, M. Different models used to interpret chemical changes: analysis of a curriculum and its impact on French students' reasoning. **Chem. Educ. Res. Pract.**, 10, 2009. 24-34.
- KIILL, K. B. **Caracterização de imagens em livros didáticos e suas contribuições para o processo de significação do conceito de equilíbrio químico**. São Carlos - SP: Tese de doutorado - Universidade Federal de São Carlos, 2009.
- KLEIN, D.R. **Organic Chemistry as a second language**. John Wiley & Sons. New Jersey, 2004.
- KLEINMAN, R.W.; GRIFFIN, H. C.; KONIGSBERG, K. N. Images in chemistry. **Journal of Chemical Education**, 64, 1987. 766-770.
- KOZMA, R.; RUSSEL, J. Studentes becoming chemistry: developing representational competence. *In*: GILBERT, J. **Visualization in science education**. Dordrecht:Springer, 2005. p. 121-145.
- KOZMA, R.; RUSSELL, J. Multimedia and understanding: expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. **Journal of Research in Science Teaching**, 1997, v. 43, 949–968.
- KRAPAS, S.; QUEIROZ, G.; COLINVAUX, D. E.; FRANCO, C. **Modelo: terminologia e sentidos na literatura de pesquisa em Ensino de Ciências**. Trabalho apresentado no Encontro Linguagem, Cultura e Cognição: Reflexões para o Ensino de Ciências. (Belo Horizonte, 5-7 de março de 1997).
- KRESS, G.; VAN LEEUWEN, T. **Reading Images: the grammar of visual design**. London: Routledge, 1996.

- KRESS, G.; VAN LEEUWEN, T. **Multimodal Discourse: the modes and media of contemporary communication**. London: Oxford University Press, 2001.
- KURBANOGU, N.I.; TASKESENLIGIL, Y.; SOZBILIR, M. Programmed instruction revisited: a study on teaching stereochemistry. **Chemistry Education Research and Practice**, 7, 2006. 13-21.
- LABARCA, M. Acerca de la naturaleza de la química: algunos comentarios. Revista **Educación em la Química - Adeqra** v.15, n. 2, 2010, p. 77-158.
- LABARCA, M.; LOMBARDI, O. Why orbitals do not exist? **Found Chem**, 12, 2010. 149-157.
- LAZLO, P. **A palavra das coisas ou a linguagem da química**. Tradução de R. Gonçalves e A. Simões. Lisboa: Gradiva, 1995.
- LEMKE, J. **Aprender a hablar ciencia: lenguaje, aprendizaje y valores**. Tradução de A. García. Paidós, 1997.
- LEMKE, J.L. **Ensenar todos los lenguajes de la ciencia: palabras, símbolos, imágenes, y acciones**. In: BENLLOCH, M. **La educación en ciencias**. Barcelona: Paidós, 2002. 159-186.
- LEFEBVRE, H. **La presencia y La Ausencia: contribución a la teoría de las representaciones**. Cidade do México: Fondo de Cultura Económica, 1983.
- LEININGER, M. **Qualitative research methods in nursing**. Orlando: Grune e Stratton, 1985. cap. 3, p. 33-71: Ethnography and ethnonursing models and modes of qualitative data analysis.
- LEVY, L. F.; SANTO, A. O. A psicologia vygotskyana e uma alternativa transdisciplinar. **ACTA SCIENTIAE**, Canoas v.8 n.1 p. 5 - 24 jan./jun. 2006.
- LIBBY, R.D. Piaget and Organic Chemistry. **Journal of Chemical Education**. v. 72, n. 4, p. 504, 1995.
- LOMBARDI, G.; CABALERRO, C. Lenguaje y discurso en los modelos conceptuales sobre equilibrio químico. **Investigações em Ensino de Ciências**, 12, n. 3, 2007. 383-412.
- LOMBARDI, G.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. Las Representaciones pictóricas como recursos semióticos: caso equilibrio químico. **Enseñanza de las Ciencias, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias**, Barcelona. 2007.
- LOMBARDI, O.; LABARCA, M. The ontological autonomy of the chemical world: a response to Needham. **Foundations of Chemistry**, 8, 2006. 81-92.
- LOWE, R. K. Animation and learning: selective processing of information in dynamic graphics. **Learning and Instruction**, 2003. 157-176.
- MACKINLAY, J. **Applying a theory of graphical presentation to the graphic design of user interfaces**. Symposium on User Interface Software and Technology, Proceedings of the 1st annual ACM SIGGRAPH symposium on User Interface Software. 1988. 179-189.
- MANECHINE, S.R.S. **Construção de signos matemáticos: uma proposta didático-metodológica para as séries iniciais do ensino fundamental**. Bauru - Tese de Doutorado – UNESP, 2006.

Referências bibliográficas

- MANECHINE, S.R.S.; CALDEIRA, A.M.A. Construção de Conceitos Matemáticos na educação Básica numa Abordagem Peirceana. **Bolema. Boletim de Educação Matemática**. v. 37, p. 01-10, 2010.
- MANRIQUE, W.B.S. **Desempenho do curso de química da Universidade Federal de Goiás**. Dissertação (mestrado em Química). 1997, UnB.
- MARTINS, I. **O papel das representações visuais no ensino-aprendizagem de ciências**. In. ATAS: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. Águas de Lindóia, SP: 1997. 294-299.
- MAYER, R.E. Multimedia learning: are we asking the right questions? **Educational Psychologist**, 32, 1997. 1-19.
- MAYER, R.E. Systematic thinking fostered by illustration in scientific text. **Journal of Educational Psychology**, 81, 1989. 240-246.
- MAYES, J.T.; JAHODA, G.; NEILSON, I. Patterns of visual-spatial performance and spatial ability – dissociation of ethnic and sex-differences. **British Journal of Psychology**, 79, 1998, 105 -119.
- MCFIE, J. Intellectual imbalance: a perceptual hypothesis. **British Journal of Social Clinical Psychology**, 12, 1973. 433 - 434.
- MCMURRY, J. **Química Orgânica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2001.
- MEDEIROS, R.D.M. . Visualização científica vs interpretação científica: uma leitura semiótica. **Estudos Semióticos**, 5, n. 2, 2009. 60 - 69.
- MENDONÇA, P.C.C.; JUSTI, R.S. Contributions of the Model of Modelling Diagram to the Learning of Ionic Bonding: Analysis of A Case Study. **Research in Science Education**, v. 4, 2010. 1-25.
- MEUNIER, J.G. **La représentation en sciences cognitives**. Compendiun de recherche et d'essais, 2002.
- MORENTIN, J.M.D. **Conceito e Método da Semiótica**. In: SIMÕES, D. **Mundos Semióticos Possíveis**. Rio de Janeiro: Dialogarts, 2008. 17- 49.
- MOREIRA, M.A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, 7(1), 7-29, 2002.
- MOREIRA, M.A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo, Editora Pedagógica Universitária, 1999.
- MOREIRA, M.A. Modelos mentais. **Revista Investigação em ensino de ciências**. v. 1, n. 3, p. 193-232, 1996.
- MOREIRA, M.A.; LAGRECA, M.C.B. Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de Física Geral na Mecânica Clássica e possíveis modelos mentais nessa área. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, p. 202-215, 1998.
- MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. Lisboa: Ed. Institut Piaget, 1995.
- MORTIMER, E.F. **Uma metodologia para caracterizar os gêneros de discurso como tipos de estratégias enunciativas nas aulas de ciências**. In: NARDI, R. **A pesquisa em Ensino de Ciência no Brasil: alguns recortes**. São Paulo: Escrituras, 2007.

- MORTIMER, E.F.; MACHADO, A.H.; ROMANELLI, L.I. A proposta curricular de Química do Estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. **Química Nova**, 23, n. 2, 2000. 273 - 283.
- MORTIMER, E.; SMOLKA, A. **Linguagem, Cultura e Cognição**. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2001.
- MORTIMER, E.F.; MACHADO, A.H. **A linguagem numa aula de ciências**. Presença Pedagógica, v. 2, n.11, p. 49-57, 1996.
- MOURA, J.; CARDOSO, A.; LAMOUNIER JR, E. A criação dos elementos químicos tridimensionais através da realidade virtual uma aplicação na Química Orgânica. **Revista Ceciliana**, 1, n. 1, 2009. 32- 42.
- MOSCOVICI, S. **A Representação Social da Psicanálise**. Rio de Janeiro: Zahar, 1978.
- MUCELIN, C.A.; BELLINI, M. Estudo da percepção em ecossistema urbano: uma contribuição para a educação, planejamento e gestão ambiental. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, Brasília, 89, n. 221, 2008. 119-144.
- MULLINS, J. J. The Six Pillars of Organic Chemistry. **Journal Chemical Education**, v.85, n.1, 2008. 83 – 85.
- NELSON, J.E.; WILLIAMSON, S.A. Using Molecular Modeling to Enhance Visualization in the Organic Chemistry Classroom. **The Chemical Educator**, 1, n. 6, 1996.
- NOH, T.; SCHARMANN, L.C. Instructional influence of a molecular-level pictorial preservation of matter on students' conceptions and problem-solving ability. **Journal of research in Science Teaching**, 34, n. 2, 1997. 199 -217.
- NÖTH, W. **Panorama da Semiótica: de Platão a Peirce**. 1. ed. São Paulo: Annablume, 1995.
- NÖTH, W. **Panorama da Semiótica: de Platão a Peirce**. 2. ed. São Paulo: Annablume, 1998.
- NUÑES, I.B.; RAMALHO, B.L. PEREIRA, J.E. As representações semióticas nas provas de química no vestibular da UFRN: uma aproximação à linguagem científica no ensino das ciências naturais. **Revista Iberoamericana de Educación**, v. 1, p. 1-12, 2011.
- PAULA, H. F.; ALVES, E. G. **Uma sequência de ensino sobre a física quântica, os dispositivos semicondutores de nosso dia a dia**. 2007. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0397-1.pdf>>. Acesso em: setembro 2011.
- PEIRCE, C.S. **Semiótica**. Tradução José Teixeira Coelho Netto. 2 edição. São Paulo: Perspectiva, 1990. Título original: The Collected Papers of Charles Sanders Peirce. (Coleção Estudos, Semiótica, n. 46).
- PEIRCE, C.S. **Semiótica**. Tradução José Teixeira Coelho Netto. 8 edição. São Paulo: Perspectiva, 2005. Título original: The Collected Papers of Charles Sanders Peirce. (Coleção Estudos, Semiótica, n. 46).
- PEIRCE, S.C. **Semiótica**. Tradução José Teixeira Coelho Netto. 6 edição. São Paulo: Perspectiva, 2000. Título original: The Collected Papers of Charles Sanders Peirce. (Coleção Estudos, Semiótica, n. 46).
- PIETROCOLA, M. Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, 4, n. 3, 1999.

Referências bibliográficas

PIMENTA, F.J.P.; SILVEIRA JR, P.M. **Degenerecencia e revirão: convergência útil para o campo da comunicação?** XVIII Encontro da Compós. Belo Horizonte, 2009.

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**, 24, n. 3, 1987. 229-240.

PSARROS N. What has Philosophy to Offer to Chemistry? **Foundations of Science**, 3, 1998.183-202.

QUADROS, A.L.; MORTIMER, E.F. **Estratégias usadas por um professor do Ensino Superior para engajar os estudantes nas aulas.** VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - ENPEC. Florianópolis, 2009. 122-130.

QUEIROZ, A.S. **Contribuições do ensino de ligação iônica baseado em modelagem ao desenvolvimento da capacidade de visualização.** Belo Horizonte - Dissertação (Mestrado em Educação) – UFMG, 2009.

QUEIROZ, F.M.E.J. Borges e as categorias logico-fenomenológicas de Peirce. **ALEA**, v. 10, 2008, p. 288-303.

RAMOS, M.N. **Quadro de evasão na UFPE: metodologia, causas e ações.** Pró-Reitoria para Assuntos Acadêmicos. Recife, Universidade Federal de Pernambuco. 1995.

RAPPOPORT, L.T.; ASHKENAZI, G. Connecting levels of representation: emergent versus submergent perspective. **Int. J. Sci. Educ.**, 30, 2008. 1585-1603.

RAUPP, D.; SERRANO, A.; MOREIRA, M.A. Desenvolvendo habilidades visuoespaciais: uso de software de Construção de modelos moleculares no ensino de isomeria Geométrica em química. **Experiências em Ensino de Ciências**, 4, n. 1, 2009. 65-78.

REISBERG, D. **External representations and the advantages of externalizing one's thought.** The Ninth Annual Conference of the Cognitive Science Society. Hillsdale, N.J: Erlbaum Associates. 1987. 281-293.

RENSTRÖM, L.; ANDERSSON, B.; MARTON, F. Students' conceptions of matter. **Journal of Educational Psychology**, 3, 1990. 555-569.

RIBEIRO, M.A.P. **Filosofia e Química: miscíveis - Quais as implicações da Filosofia da Química para o Ensino de Química?** XIV Encontro Nacional de Ensino de Química (XIV ENEQ). Brasília – DF, 2008.

RICHARDSON, R.J. **Pesquisa social: métodos e técnicas.** São Paulo: Atlas, 3ª ed., 1999.

RIVIÈRE, A. **Razonamiento y representación.** Madrid: Siglo XXI, 1986.

RODRIGUES, G.C.L.; MORAES, J.A.D.O conceito Peirceano de informação genuína e seu emprego na explicação de uma ação. **Cognitui Estudos: Revista eletrônica de Filosofia**, São Paulo, 7, n. 1, 2010. 99 -104.

RODRIGUES, S. B. V.; SILVA, D. C.; QUADROS, A. L. O ensino superior de Química: reflexões a partir de conceitos básicos para a química orgânica. **Química Nova**. v. 34 , n. 10 , 2011, p. 1840 – 1845.

ROQUE, N.F.; SILVA, J.L.P.B. A linguagem química e o ensino da química orgânica. **Química Nova**, 31, n. 4, 2008. 921-923.

- RUSAY, R. **Organic Chemistry / Memory / Learning. Chem 226 General Organic Chemistry**, 2005. Disponível em: <http://ep.lnl.gov/msds/chem120/learning.html>. Acesso em: agosto 2010.
- SANTAELLA, L. **A percepção: uma teoria semiótica**. 2. ed. São Paulo: Experimento, 1998.
- SANTAELLA, L. **A teoria geral dos signos: como as linguagens significam as coisas**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.
- SANTAELLA, L. **Comunicação e pesquisa: projetos para mestrado e doutorado**. São Paulo: Hacker editoras, 2001.
- SANTAELLA, L. **Matrizes da linguagem e do pensamento**. São Paulo: Ed. Iluminuras, 2008.
- SANTAELLA, L. **Matrizes da linguagem e pensamento: sonora, visual, verbal: aplicações na hipermídia**. São Paulo: Iluminuras e FAPESP, 2005.
- SANTAELLA, L. **O que é semiótica?** São Paulo: Brasiliense, 1983.
- SANTAELLA, L. **Percepção: fenomenologia, ecologia, semiótica**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.
- SANTAELLA, L. **Teoria geral do signo**. São Paulo: Thomson Pioneira, 2002.
- SANTAELLA, L. **Teoria geral dos signos: como as linguagens significam as coisas**. São Paulo: Thomson Pioneira, 1999.
- SANTAELLA, L.; NÖTH, W. **Imagem: Cognição, Semiótica, Mídia**. São Paulo: Iluminuras, 2005.
- SANTOS, W.L.P. Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. **Rev. Bras. Educ.**, v. 12, n. 36, 2007.
- SANTOS, E.O.; VALVERDE, V.C. **A evasão no curso de Química da UnB : o que mudou após 1997**. Monografia (Faculdade de Economia e Administração). UnB, 2006.
- SANTOS, F.M.T.; GRECA, I.M. Promovendo aprendizagem de conceitos e de representações pictóricas em Química com uma ferramenta de simulação computacional. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**. v. 4, n. 1, 2005.
- SCERRI, E.R. Chemistry, spectroscopy and the question of reduction. **Journal of Chemical Education**, 68, 1991. 122–26.
- SCERRI, E. The failure of reduction and how to resist the disunity of science in chemical education. **Science & Education**, 9, n. 5, 2000. 405-425.
- SCHETTINI, M. B. **O Detetive e o Método**. São Paulo: Dissertação de Mestrado em Semiótica, PUC, São Paulo, 2002.
- SCHUMMER, J. The Chemical Core of Chemistry. **HYLE-International Journal for the Philosophy of Chemistry**, 4, n. 2, 1998. 129-162.
- SEDDON, G.M.; ENIAIYUJU, P.A. The understanding of pictorial depth cues, and the ability to visualize the rotation of three-dimensional structures in diagrams. **Research in Science and Technological Education**, 4, n. 1, 1986. 29-37.

Referências bibliográficas

- SEDDON, G.M.; SHUBBER, K.E. Learning the visualization of three-dimensional spatial relationships in diagrams at different ages in Bahrain. **Research in Science and Technological Education**, 3, n. 2, 1985. 97-108.
- SEIXAS, R.B. **Visualização Volumétrica com Ray-Casting num Ambiente Distribuído**. Rio de Janeiro - Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1997.
- SHAH, P.; MIYAKE, A. **Models of Working Memory**. Cambridge, UK: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1999.
- SHELTON, A. L.; MCNAMARA, T. P. Systems of spatial reference in human memory. **Cognitive Psychology**, 43, 2001a, 274-310.
- SHELTON, A. L., MCNAMARA, T. P. Visual memories from nonvisual experiences. **Psychological Science**, 12, 2001b, 343-347.
- SILVA, A. C. T. D. A perspectiva semiótica da educação. **Rev. Teoria e Prática da Educação**, 11, n. 3, 2008. 259-267.
- SILVA, A.; RIBEIRO, N. **Modelagem molecular de compostos orgânicos**. III Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. Fortaleza, 2008.
- SILVA, R. R.; PACHÁ, L.C.L.; JUNQUEIRA, R.M.P.; TUNES, E. Evasão e reprovações no Curso de Química da Universidade de Brasília. **Química Nova**, 18 (2), 1995, p. 210-214.
- SILVA, T.T. **Documentos de Identidade: uma introdução às teorias do currículo**. Belo Horizonte: Autêntica, 2005.
- SILVEIRA, L.F.B.D. **Mente, Universos e Verdade nas Relações Semióticas**. , PUC-SP, 6-13. Caderno da 4ª Jornada do CEPE - PUC-SP. São Paulo, 2001. 6-13.
- SIMEÃO, E.; MIRANDA, A. **Multivocalidade como Metametodologia para Produção de Conhecimento, estudo de caso**. IN: XI Congresso Internacional de Bibliotecologia. Santiago de Chile, 25 a 27 de outubro de 2006.
- SIMÕES, D. **O percurso semiótico da leiturização e da textualização**. In: SIMÕES, D. *Mundos semióticos possíveis*. Rio de Janeiro: Dialogarts, 2008. 101-112.
- SMALL, M.Y.; MORTON, M.E. Research in college science teaching: spatial visualization training improves performance in organic chemistry. **Journal of College Science Teaching**, 13, n. 1, 1983. 41-43.
- SOLAZ-PORTOLÉS, J.J.; SANJOSÉ, V. Cognitive variables in science problem solving: a review of research. **Journal of Physics Teacher Education Online**, 2, 2007. 25-33.
- SOUSSAN, G. **Como ensinar as ciências experimentais? Didática e formação**. Brasília: OREALC, 2003.
- SOUZA, L.S. **Introdução às teorias semióticas**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2006.
- STIEFF, M. When is a molecule three dimensional? A task-specific role for imagistic reasoning in advanced chemistry. **Science Educacion**, 95, n. 2, 2011. 310-336.
- STIEFF, M.; RAJE, S. Expert algorithmic and imagistic problem solving strategies in advanced chemistry. **Spatial Cognition and Computation**, 10, n. 1, 2010. 53 – 81.

- STRONG, S.; SMITH, R. Spatial Visualization: Fundamentals and Trends in Engineering Graphics. **Journal of Industrial Technology**, v.18, n.1, 2001.
- SWELLER, J. Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In: MAYER, R. E. **Cambridge Handbook of Multimedia Learning**. 2005. 19-30.
- TABER, K.S. An alternative conceptual framework from chemistry education. **International Journal of Science Education**, 1998. 597-608.
- TABER, K.S. Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. **Chemistry education: research and practice in europe**, 2, n. 2, 2001. 123-158.
- TABER, K.S. Do atoms exist? **Education in chemistry**. n.1, 1996.
- TÁLAMO, M.F.G.M. Linguagem documentária. **Ensaio APB**, São Paulo, n. 45, 1997.
- TALANQUER, V. Macro, Submicro, and Symbolic? The Many Faces of the Chemistry Triplet. **International Journal of Science Education**, 33, n. 2, 2011. 179-195.
- THOM, R. **Paraboles et catastrophes**. Paris: Champs Flammarion, 1983.
- THURSTONE, L.L. Some primary abilities in visual thinking. **Proceedings of the American Philosophical Society**, 94, 1950. 517-521.
- TREAGUST, D.F.; CHITTLEBOROUGH, G.; MAMIALA, T.L. The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. **International Journal of Science Education**. 25, n. 11, 2003. 1353-1368.
- TUCKEY, H.; SELVARATNAM. Studies involving three-dimensional visualization skills in chemistry. **Studies in Science Education**. 21, 1993. 99-121.
- URHAHNE, D.; NICK, S.; SCHANZE, S. The Effect of Three-Dimensional Simulations on the Understanding of Chemical Structures and Their Properties. **Res Sci Educ**. n. 39, 2009. 495 – 513.
- VAN DIJK, T. A. **El discurso como interaccion social**. Barcelona: Gedisa, 2003.
- VELASCO, A. D.; KAWANO, A. A Aptidão Espacial é um Dom?. **Revista GRAF&TEC**, n.9, 23-34, 2001.
- VERGNAUD, G. **A psicologia da educação**. In: PLAISANCE, E.; VERGNAUD, G. As Ciências da Educação. São Paulo: Loyola, 2003.
- VERGNAUD, G. **A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems**. In Carpenter, T., Moser, J. e Romberg, T. (1982). Addition and subtraction. A cognitive perspective. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. pp. 39-59, 1982.
- VIAU, J. E. ZAMORANO, R.O.; GIBBS, H.M.; MORO, L.E. **El modelado en la educación científica, su relevancia en la formación de profesores**. In: I Jornadas Nacionales de Investigación Educativa: las perspectivas, los sujetos y los contextos en Investigación Educativa, Mendoza, 2008.
- WILLIAMSON, V. M.; ABRAHAM, M. R. The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students. **Journal of Research in Science Teaching**. 32, 1995.

Referências bibliográficas

WITKIN, H. A. **Social influences in the development of cognitive style**. In D. Gaskin (ed.), *Handbook of Socialisation Theory and Research* (New York: Rand-McNally), 1969.

WORTMANN, M. L. C. **Currículo e ciências – as especificidades pedagógicas do ensino de ciências**. In: COSTA, M.V. (org.). *O currículo nos limiares do contemporâneo*. Rio de Janeiro: DP & A, 2001, 129-157.

WU, H.K. Linking the microscopic view of chemistry to real- life experiences: intertextuality in a high-school science classroom. **Science Education**. 87, 2003. 868-891.

WU, H.K.; KRAJCIK, J.S.; SOLOWAY, E. Promoting understanding of chemical representations: students' use of a visualization tool in the classroom. **Journal of Research in Science Teaching**, 38, 2001. 821– 842.

WU, H.K.; SHAH, P. Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. **Science Education**, 88, 2004. 465–492.

ZEIDLER, P. The epistemological status of theoretical models of molecular structure. **HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry**. 6, n. 1, 2000. 17-34.

ZEIDLER, P.; SOBCZYNSKA, D. Experimentalism and the Problem of the Existence of Theoretical Entities in Chemistry. **Foundations of Science**.1, 1996. 517-535.

Anexo 1- Plano de Ensino da disciplina de Química de Compostos Orgânicos

Quadro 1. Química de Compostos Orgânicos I

PLANO DE ENSINO			
Departamento (Ou Núcleo): Núcleo de Química de Itabaiana NQCI			
Curso: Licenciatura em Química		Semestre Letivo: 2010-1	
Disciplina: Química dos Compostos Orgânicos I			Código: 509015
Carga Horária	Teórica: 60	Créditos: 4	PEL:4-00-0
	Prática:		
Pré-requisito: Fundamentos de Química			Código: 509012
Professor(a):			
Ementa: Propriedades Gerais e reações: hidrocarbonetos alifáticos, alicíclicos e aromáticos, haletos de alquila (SN1/E1 e SN2/E2). Estrutura e reatividade. Análise Conformacional. Estereoquímica. Aplicações. Importância econômica e social.			
Objetivo Geral: propiciar a interação entre professor e aluno para a construção de conceitos e aplicação da Química Orgânica, contextualizando esta ciência de forma interdisciplinar e considerando o cotidiano.			
Conteúdo Programático: Introdução ao estudo da Química Orgânica; Orbitais atômicos e orbitais moleculares; hibridização: orbitais sp^3 , sp^2 e sp ; Ligações covalentes polares: eletronegatividade, momento de dipolo, carga parcial, carga formal; Estruturas de ressonância; Ácidos e Bases em Química Orgânica; Definições de Brønsted-Lowry e de Lewis; Mecanismos em reações orgânicas: uso das setas curvas; Forças de ácidos e bases: k_a e $p_k a$; Previsão do resultado das reações ácido-base; Relação entre estrutura e acidez; Alcanos e Cicloalcanos; Nomenclatura de alcanos e cicloalcanos; Propriedades físicas de alcanos e cicloalcanos; Isomeria cis-trans nos cicloalcanos; Conformação dos alcanos (etano, propano e butano); Conformação e estabilidade dos cicloalcanos (ciclopropano, ciclobutano, ciclopentano, ciclohexano); Estereoquímica; Isomerismo: isômeros constitucionais e estereoisômeros; Enantiômeros e carbono estereogênico; Nomenclatura de enantiômeros: configurações R e S; Diastereoisômeros; Alcenos e Alcinos; Propriedades físicas de alcenos e alcinos; Nomenclatura de alcenos, alcinos e cicloalcenos; Isomeria cis-trans nos alcenos; Nomenclatura E, Z; Estabilidade relativa de alcenos; Reações de Adição Eletrofílica a alcenos; Preparação de alcenos: reações de eliminação; Polimerização dos alcenos via radicais; Haletos Orgânicos e Reações Iônicas; Propriedades físicas de haletos orgânicos; Reações de Substituição Nucleofílica: SN2 e SN1; Reações de Eliminação: E2 e E1; Compostos Aromáticos e Derivados; Estabilidade do benzeno e derivados; Outros compostos aromáticos; Reações de Substituição Eletrofílica Aromática (halogenação, nitração, sulfonação, alquilação e acilação de Friedel-Crafts); Efeito dos substituintes sobre a reatividade e orientação; Fenóis e haletos de arila.			
Metodologia: Exposição oral, com apoio de recursos audiovisuais. Discussão de temas relacionados à química orgânica e educação. Horários para atendimento extra classe, visando sanar dúvidas sobre o conteúdo ministrado			
Avaliação: Três provas escrita. Frequência no curso			
Bibliografia			
Bibliografia Básica: SOLOMONS, T.W.G.; FRYHLE, C.B. Química Orgânica. Rio de Janeiro: LTC Editora. V. 1, 7ª.ed., 2001; V. 2, 7ª.ed., 2002.			
Bibliografia Complementar: VOLLHARDT, K.P.C.; SCHORE, N.E. Química Orgânica: Estrutura e Função. Porto Alegre: Bookman. 4.ed., 2004.			
McMURRY, J. Química Orgânica. São Paulo: Pioneira Thomson Learning. Vol 1, 2005, Vol 2, 2005.			
BARBOSA, L.C.A. Introdução à Química Orgânica. São Paulo: Prentice Hall. 2004.ALLINGER, N. L.; CAVA, M.P.; De JONGH, D.C.; JOHNSON, C.R.; LEBEL, N.A.; STEVENS, C.L. Química Orgânica. Rio de Janeiro: LTC Editora. 2.ed., 1978.			

Referências bibliográficas

Quadro 1. Química de Compostos Orgânicos II

PLANO DE ENSINO			
Departamento (Ou Núcleo): Núcleo de Química de Itabaiana NQCI			
Curso: Licenciatura em Química		Semestre Letivo: 2010-1	
Disciplina: Química dos Compostos Orgânicos I			Código: 509015
Carga Horária	Teórica: 60	Créditos: 4	PEL:4-00-0
	Prática:		
Pré-requisito: Fundamentos de Química			Código: 509012
Professor(a):			
Ementa: Propriedades Gerais e reações: hidrocarbonetos alifáticos, alicíclicos e aromáticos, haletos de alquila (SN1/E1 e SN2/E2). Estrutura e reatividade. Análise Conformacional. Estereoquímica. Aplicações. Importância econômica e social.			
Objetivo Geral: propiciar a interação entre professor e aluno para a construção de conceitos e aplicação da Química Orgânica, contextualizando esta ciência de forma interdisciplinar e considerando o cotidiano.			
Conteúdo Programático: Introdução ao estudo da Química Orgânica; Orbitais atômicos e orbitais moleculares; hibridização: orbitais sp^3 , sp^2 e sp ; Ligações covalentes polares: eletronegatividade, momento de dipolo, carga parcial, carga formal; Estruturas de ressonância; Ácidos e Bases em Química Orgânica; Definições de Brønsted-Lowry e de Lewis; Mecanismos em reações orgânicas: uso das setas curvas; Forças de ácidos e bases: k_a e $p_k a$; Previsão do resultado das reações ácido-base; Relação entre estrutura e acidez; Alcanos e Cicloalcanos; Nomenclatura de alcanos e cicloalcanos; Propriedades físicas de alcanos e cicloalcanos; Isomeria cis-trans nos cicloalcanos; Conformação dos alcanos (etano, propano e butano); Conformação e estabilidade dos cicloalcanos (ciclopropano, ciclobutano, ciclopentano, ciclohexano); Estereoquímica; Isomerismo: isômeros constitucionais e estereoisômeros; Enantiômeros e carbono estereogênico; Nomenclatura de enantiômeros: configurações R e S; Diastereoisômeros; Alcenos e Alcinos; Propriedades físicas de alcenos e alcinos; Nomenclatura de alcenos, alcinos e cicloalcenos; Isomeria cis-trans nos alcenos; Nomenclatura E, Z; Estabilidade relativa de alcenos; Reações de Adição Eletrofílica a alcenos; Preparação de alcenos: reações de eliminação; Polimerização dos alcenos via radicais; Haletos Orgânicos e Reações Iônicas; Propriedades físicas de haletos orgânicos; Reações de Substituição Nucleofílica: SN2 e SN1; Reações de Eliminação: E2 e E1; Compostos Aromáticos e Derivados; Estabilidade do benzeno e derivados; Outros compostos aromáticos; Reações de Substituição Eletrofílica Aromática (halogenação, nitração, sulfonação, alquilação e acilação de Friedel-Crafts); Efeito dos substituintes sobre a reatividade e orientação; Fenóis e haletos de arila			
Metodologia: Exposição oral, com apoio de recursos audiovisuais. Discussão de temas relacionados à química orgânica e educação. Horários para atendimento extra classe, visando sanar dúvidas sobre o conteúdo ministrado			
Avaliação: Três provas escrita. Frequência no curso			
Bibliografia			
Bibliografia Básica: SOLOMONS, T.W.G.; FRYHLE, C.B. Química Orgânica. Rio de Janeiro: LTC Editora. V. 1, 7ª.ed., 2001; V. 2, 7ª.ed., 2002.			
Bibliografia Complementar: VOLLHARDT, K.P.C.; SCHORE, N.E. Química Orgânica: Estrutura e Função. Porto Alegre: Bookman. 4.ed., 2004.			
McMURRY, J. Química Orgânica. São Paulo: Pioneira Thomson Learning. Vol 1, 2005, Vol 2, 2005.			
BARBOSA, L.C.A. Introdução à Química Orgânica. São Paulo: Prentice Hall. 2004.			
ALLINGER, N. L.; CAVA, M.P.; De JONGH, D.C.; JOHNSON, C.R.; LEBEL, N.A.; STEVENS, C.L. Química Orgânica. Rio de Janeiro: LTC Editora. 2.ed., 1978.			

Anexo 2 – Termo de consentimento**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO****ESTUDO: Processos de ensino e aprendizagem de conceitos de Química Orgânica: um olhar a partir dos registros de representações semióticos.**

Você está sendo convidado (a) a participar do projeto acima citado. Sua experiência enquanto professor da disciplina de Química de Compostos Orgânicos poderá contribuir para a realização deste estudo. Trata-se de uma pesquisa vinculada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da USP.

Eu, _____, portador da Cédula de Identidade (RG) n. _____ nascido em ____/____/____, concordo de livre e espontânea vontade em participar como voluntário (a) do estudo Processos de ensino e aprendizagem de conceitos de Química Orgânica: um olhar a partir dos registros de representações semióticos.

Declaro que obtive todas as informações necessárias, bem como todos os eventuais esclarecimentos quanto às dúvidas por mim apresentadas.

Estou ciente que:

- 1) Tenho a liberdade de desistir ou de interromper a colaboração neste estudo no momento em que desejar, sem necessidade de qualquer explicação;
- 2) Minha identidade será mantida em sigilo, mas concordo que as informações fornecidas durante a entrevista seja usado no desenvolvimento do estudo e em futuras publicações científicas;
- 3) Caso eu desejar, poderei pessoalmente tomar conhecimento dos resultados, ao final do estudo.

Professor colaborador no estudo

Responsável pelo projeto: Edson José Wartha (Doutorando em Ensino de Ciências) e Dra. Daisy de Brito Rezende (IQUSP).

Contato: ejwartha@usp.br Fone: 79 – 88370394