

Estereoquímica no Ensino Superior: historicidade e contextualização em livros didáticos de Química Orgânica

Daniele Raupp
José Cláudio Del Pino

RESUMO

A compreensão da estereoquímica é requerida em diferentes cursos do Ensino Superior. Tarefa que para alguns estudantes é considerada difícil, uma vez que o ensino é geralmente centrado nos conceitos científicos. Acreditamos que a abordagem do contexto histórico e a relação com o cotidiano possa despertar a motivação dos estudantes, uma vez que a estereoquímica possui muitos aspectos interessantes relacionados a essa perspectiva. Nossa proposta é apresentar um breve histórico do desenvolvimento da estereoquímica e algumas das possíveis relações que professores podem estar utilizando em sala de aula, além de analisar como esses aspectos estão sendo abordados nos livros didáticos. As análises revelam que os autores selecionados apresentam no capítulo referente ao tema, informações históricas e relacionadas com o cotidiano, mas em diferentes níveis de aprofundamento e com abordagens distintas.

Palavras-chave: História da ciência. Estereoquímica. Química Orgânica. Contextualização. Livros didáticos.

Stereochemistry in Higher Education: Historicity and context in Organic Chemistry textbooks

ABSTRACT

The understanding of stereochemistry is required in different courses of Higher Education. This understanding is a task that for some students is considered difficult, since teaching is often focused on scientific concepts. We believe that the approach of the historical context and its relationship to daily life may arouse students' motivation since the stereochemistry has many interesting aspects related to this perspective. Our proposal is to present a brief history of the development of stereochemistry and some of the possible relationships that teachers may be using in the classroom and analyze how these issues are being addressed in textbooks. The analyses show that the selected authors have the chapter on the topic, and historical information related to the daily life, but at different levels of depth and with different approaches.

Keywords: History of science. Stereochemistry. Organic Chemistry. Contextualization. Textbooks.

Daniele Raupp é Mestre em Ensino de Ciências. Atualmente, é professora da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha e do Centro Universitário Metodista do IPA. Endereço para correspondência: Rua Inconfidentes, nº 395, Bairro Primavera, 93340-140, Novo Hamburgo, RS, Brasil. E-mail: dtraupp@gmail.com

José Cláudio Del Pino é Pós-Doutor em Ensino de Química. Atualmente, é professor orientador do PPG Educação em Ciência Química da Vida e Saúde e do PPG Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Endereço para correspondência: Av. Bento Gonçalves, nº 9500, Sala D-114, Campus do Vale, 91501-970, Porto Alegre, RS. E-mail: delpinojc@yahoo.com.br

Recebido para publicação em 25/01/2013. Aceito, após revisão, em 14/07/2014.

Acta Scientiae	Canoas	v.17	n.1	p.146-168	jan./abr. 2015
----------------	--------	------	-----	-----------	----------------

INTRODUÇÃO

Conceitos relativos ao campo conceitual da Estereoquímica, tais como isomeria, geometria molecular, estruturas tridimensionais, carbono assimétrico, configuração absoluta, mistura racêmica e quiralidade, são abordados nas disciplinas de Química Orgânica tanto no Ensino Médio, quanto no Ensino Superior sendo que, no Ensino Superior o tema estereoquímica não é um objeto de estudo apenas nos cursos de Química, mas também nos cursos de Biologia, Farmácia, Biomedicina, Bioquímica entre outros. E apesar desse conteúdo ser normalmente ministrado após análise conformacional, ligações químicas e geometria molecular, alguns estudantes não possuem uma base consolidada da estrutura química em três dimensões.

Como resultado, os problemas relacionados à formação dos conceitos científicos de estereoquímica têm sido amplamente discutidos na literatura, apontando como principal dificuldade a resolução de problemas em nível tridimensional (KURBANOGLU; TASKESENLIGI; SOZBILIR, 2006; WU, SHAH, 2004). Dificuldade que ocorre, uma vez que, a capacidade de visualizar os aspectos tridimensionais de moléculas e suas relações com outras moléculas é um desafio considerável (KEIG; RUBBA, 1993; KOZMA; RUSSELL; MARX, 2000). A complexidade da resolução de problemas desse nível (BAKER; GEORGE; HARDING, 1998) justifica o fato de que para alguns estudantes o aprendizado de estereoquímica pode ser difícil e algumas vezes traumático (KURBANOGLU; TASKESENLIGI; SOZBILIR, 2006). Como resultado dessa dificuldade, o estudo da estereoquímica pode ser de certa forma, um tempo de frustração lamentável para os estudantes (EVANS, 1963).

A dificuldade em desenvolver a compreensão conceitual pode estar associada não só à dificuldade em entender e assimilar os conceitos químicos (CARDOSO; COLINVAUX, 2000) como também ao fato dos estudantes compreenderem fenômenos não relacionados ao seu cotidiano (GABEL, 1993). Como o entendimento da estereoquímica é baseado em conceitos científicos, essa pode ser uma das causas das dificuldades de aprendizagem frequentemente relatadas.

A compreensão de conceitos em Ciências exige mais do que observação e experimentação. Exige a utilização de uma grande variedade de experiências de aprendizagem – entre elas a utilização de estudos de caso históricos (HODSON, 1998). Por conta disso, nossa proposta com esse trabalho é apresentar um breve histórico do desenvolvimento da estereoquímica e algumas das possíveis relações com o cotidiano que professores podem estar utilizando em sala de aula. Além de analisar informações históricas e contextuais contidas em livros didáticos, utilizando como aporte o instrumento proposto por Laurinda Leite (2002), para analisar especificamente o conteúdo histórico de livros didáticos de Ciências.

OS CONCEITOS CIENTÍFICOS E A CONTEXTUALIZAÇÃO

Correia e colaboradores ao comentar o caso específico da Química Orgânica afirmam que a mesma “é introduzida de forma árida para os alunos, que não conseguem relacionar

esse conhecimento escolar com suas experiências prévias” (CORREIA; DONNER, 2008, p.489). Mas nem sempre o professor poderá utilizar como ponto de partida o conhecimento cotidiano, como é o caso da estereoquímica. Não é possível relacionar os novos conhecimentos desse campo com as experiências prévias dos estudantes. Isso porque conformação, plano de simetria e quiralidade não fazem parte de seus conhecimentos espontâneos. Nesse sentido, a falta de motivação dos estudantes parece estar relacionada com a dificuldade em lidar com situações abstratas e com conceitos não relacionados ao seu cotidiano (GABEL, 1993). Segundo Lima e colaboradores (2000) essa “não contextualização” pode ser a causa do alto nível de rejeição da Química; pré-disposição que dificulta o processo de ensino-aprendizagem.

Os conceitos envolvidos na aprendizagem de estereoquímica são conceitos científicos e a apropriação desse tipo de conceito segundo teorias cognitivas, demanda uma ação mediada, por meio de atividades de ensino planejadas. Segundo Damazio (2000, p.54) os conhecimentos científicos “Têm como características fundamentais um alto nível de sistematização, de hierarquização e logicidade, expressas em princípios, leis e teorias.” Ao contrário dos conhecimentos cotidianos que são intuitivos e desenvolvidos naturalmente, sem a necessidade de um processo formal de ensino.

Sendo assim, no ensino desse conceito, não podemos considerar como ponto de partida as experiências prévias dos estudantes e relacioná-las como os conceitos científicos. Consideramos que a contextualização em estereoquímica, envolve em um primeiro nível a aprendizagem dos conceitos científicos e a partir da aquisição desses conceitos a possibilidade de estabelecer relações entre com os fenômenos do cotidiano.

Mas cabe esclarecer que, a aproximação dos estudantes à realidade, a capacidade de relação dos conceitos com o cotidiano, não garante a resolução das questões conceituais (SANTOS; MORTIMER, 1999). Em outras palavras, a ideia de relacionar os conceitos científicos da estereoquímica com fenômenos cotidianos ou até mesmo com a historicidade, não garante o sucesso na resolução de problemas no nível tridimensional.

Buscamos com a contextualização motivar os estudantes, uma vez que os conhecimentos que o aluno traz para a sala de aula advêm principalmente de sua leitura do mundo macroscópico (CHASSOT, 1993) e quebrar alguns paradigmas que podem estar associados ao nível de rejeição do tema. Faz-se necessário desmistificar a imagem da química como um dogma para evitar a ideia de uma ciência feita basicamente por gênios ou que está longe da realizada (LOGUERCIO; DELPINO, 2002, SALATIEL; VIENNOT, 1985).

Acreditamos que assim como uma abordagem dos conceitos científicos relacionada ao cotidiano possa despertar o interesse dos estudantes ao demonstrar fatos concretos, uma abordagem histórica poderá proporcionar uma compreensão do caráter dinâmico do desenvolvimento da estereoquímica, assim como conceitos das ciências em geral, uma construção humana, fruto de um longo trabalho de vários cientistas; cientistas que assim como os estudantes encontraram dificuldades e dúvidas, para que o estudante tenha noção de que houve um caminho percorrido para se chegar a esse saber (LOGUERCIO; DELPINO, 2002, 2007).

A estereoquímica é um tema rico para ser tratado no que diz respeito às suas aplicações cotidianas e sua evolução histórica. Um dos episódios normalmente presente nos livros didáticos é o famoso e trágico caso da talidomida, que na década de 60 provocou o nascimento de bebês com membros atrofiados, em função de uma das estruturas terem efeito teratogênico (SANTOS; CHIN, 2012), ou ainda as propriedades organolépticas de alguns isômeros, como por exemplo, as diferenças de aroma do limoneno: enquanto uma forma apresenta o odor de laranjas, a outra apresenta o odor de limão (PAIVA, 2006).

Devemos, portanto, considerar dois pontos importantes durante o processo de aquisição e formação de conceitos da estereoquímica: a aquisição dos conhecimentos científicos e a relação com o cotidiano utilizando uma abordagem histórica e contextual. Em relação aos conceitos científicos os estudantes precisam compreender que “Isômeros são compostos que possuem os mesmos constituintes atômicos, porém suas disposições na molécula são diferentes, conferindo conseqüentemente características químicas diversas” (LIMA et al, 2000, p.657). Ou seja, inúmeras possibilidades de ligação do átomo de carbono resultam em uma característica particular – o arranjo espacial que nos permite observar o comportamento químico das moléculas em função da estrutura. Por essa razão a questão da organização molecular tem especial importância em Química Orgânica, pois trata da relação existente entre a estrutura molecular e as propriedades das moléculas (ROMERO, 1998; COELHO, 2001).

UMA BREVE HISTÓRIA DA ESTEREOQUÍMICA

A Química Orgânica tornou-se uma especialidade da Química por volta de 1850. Contudo, o termo *orgânico* surgiu anos antes em 1807, quando Berzelius denominou os compostos derivados de organismos vivos como orgânicos, e *inorgânicos* os compostos não derivados de coisas vivas (CROSLAND, 1962). Em 1820, Liebig orientado por Gay-Lussac e Wöhler orientado por Berzelius trabalhavam em seus respectivos laboratórios, quando dois compostos diferentes sintetizados apresentaram a mesma composição. O composto de Liebig era um reagente explosivo, que o mesmo determinou ser fulminato de prata (AgCNO), já Wöhler havia sintetizado o cianato de prata (AgOCN). O paradigma estabelecido até então, defendia que existia uma correspondência biunívoca entre a composição de uma substância e suas propriedades. Sendo assim, na época a conclusão óbvia, era que um dos dois resultados tinha de estar, necessariamente, errado. Na ocasião, Liebig acabou acusando Wöhler de que eram seus resultados que estavam incorretos. Wöhler, certo de seus resultados, enviou uma amostra de seu composto ao seu concorrente. Depois de analisar a amostra, Liebig declarou abertamente que cometera um erro ao fazer tal acusação e que Wöhler também estava correto. Após esse evento, ocorre amizade e colaboração científica entre os dois cientista (RAUPP, 2010; CROSLAND, 1962).

Mas a explicação de como dois compostos com muitas propriedades distintas tinham a mesma composição ainda não havia sido esclarecida. Foi então que Berzelius propôs o conceito de Isômero, e que era aceitável dentro da teoria atômica vigente: a teoria de Dalton. Sua explicação da isomeria envolvia diferenças de conectividade que atualmente conhecemos como isomeria constitucional, compostos que apresentam a mesma fórmula química, mas que apresentam átomos com uma conectividade diferente. Até então, muito pouco era conhecido sobre diferentes arranjos de ordem espacial nas moléculas. Com o passar do tempo, a isomeria se tornou um conceito mais complexo, pois compostos com a mesma conectividade mostravam também propriedades diferentes. Estas moléculas só poderiam ser compreendidas dentro da perspectiva da Estereoquímica, que estuda como os átomos se arranjam espacialmente dentro de uma mesma molécula. Isto levou ao conceito hoje denominado configuração, que explicava diferenças entre algumas moléculas (ESTEBAN, 2008).

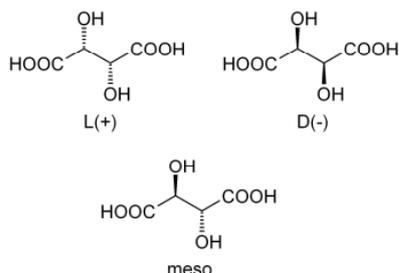
Considera-se que o estudo da estereoquímica tem sua origem no trabalho de investigação do químico francês Jean Baptiste Biot sobre substâncias que eram capazes de provocar um ângulo de rotação no plano de polarização. Ao investigar a natureza da luz plano-polarizada, Biot constatou que algumas moléculas giravam a luz polarizada para a esquerda, no sentido anti-horário (levógiras) enquanto moléculas giravam a luz polarizada para a direita, no sentido horário (dextrógiras). Ele também notou que, nem todas as substâncias apresentavam esse comportamento, mas as que apresentam, foram denominados como opticamente ativas (MCMURRY, 2005).

Mas muito pouco foi feito após essa descoberta até que Louis Pasteur bacharel em matemática e licenciado em ciências iniciou em 1846 seus estudos para obter o título de doutor em ciência na École Normale Supérieure, de Paris. Interessado no estudo da cristalografia e aluno de Biot passou a estudar o novo fenômeno:

Sua tese de doutorado, defendida em 1847, constava de duas partes: uma em química, sobre a capacidade de saturação do ácido arsenioso, e outra em física, intitulada “Estudo dos fenômenos relativos à polarização rotatória dos líquidos” – sendo esta última, na verdade, segundo o próprio Pasteur, um programa de pesquisa para estudar, a partir de uma sugestão de Biot, a causa do estranho fenômeno dos ácidos tartárico e paratartárico. (GOUVEIA-MATOS, 1997, p.20)

Conhecido desde a antiguidade sob a forma do seu sal ácido de potássio, obtido como um depósito a partir de sumo de uva fermentado, o ácido tartárico (Figura 1) se deposita nos barris, no processo de envelhecimento do vinho. Ele observou que havia dois tipos de estrutura cristalina, e com muita paciência, uma lupa e uma pinça, Pasteur separou os cristais um a um, e os agrupou em dois montes e preparou uma solução com cada um deles (SHELDON, 1993).

FIGURA 1 – Isômeros do ácido tartárico.



Fonte: autora (2013).

Ao analisar as soluções no polarímetro, Pasteur notou que uma das soluções desviavam o plano da luz polarizada para o lado direito enquanto a outra solução desviava para a esquerda, notou também que a mistura de soluções com em iguais quantidades não desviava a luz. Pasteur continuou sua pesquisa e desenvolveu métodos de separação de isômeros. Seus experimentos com os tartaratos (Quadro 1) sugeriram uma estreita correlação entre estrutura cristalina, configuração e atividade ótica.

QUADRO 1 – Isômeros do ácido tartárico e suas propriedades físicas.

Ácido Tartárico	Ponto de fusão (°C)	Solubilidade em água (g/100 mL a 25°C)	Rotação ótica (α)
(2R,3R)	170	147	+ 11,98
(2S,3S)	170	147	- 11,98
meso (2R,3S)	140	120	zero
racemato	205	25	zero

Fonte: Barreiro et al, 1997, p.648.

Uma vez que Pasteur tentou relacionar o desvio do plano da luz polarizada e o arranjo espacial das moléculas de carbono, sugerindo que os substituintes ao redor do átomo de carbono deveriam ter, provavelmente, um arranjo tetraédrico e assimétrico “Os experimentos com os tartaratos claramente sugeriam uma estreita correlação entre configuração molecular, atividade óptica e estrutura cristalina” (BAGATIN et al., 2005, P.36). Considera-se que “Essas observações estabeleceram as bases para o surgimento da moderna estereoquímica” (COELHO, 2001, p.24) e mesmo assim a comunidade científica não admitia as ideias de Pasteur.

Mesmo tendo descoberto os enantiômeros e um método de separá-los, seus estudos acabaram sendo esquecidos. Somente 25 anos mais tarde, suas ideias acerca do carbono assimétrico foram confirmadas por dois químicos, Jacobus Henricus van't

Hoff e Joseph-Achille Le Bel. Trabalhando independentemente, deram continuidade a essa ideia e propuseram que os quatro substituintes do carbono se orientam no espaço, cada um ocupando um vértice de um tetraedro, com o carbono no centro. Esse arranjo no espaço possibilitaria a existência de moléculas cuja única diferença seria a orientação dos seus substituintes no espaço (SOLOMONS; FRYHLE, 2001). Assim era introduzido o conceito de carbono assimétrico.

Se tivéssemos ao redor do carbono quatro substituintes diferentes, entre todos os arranjos possíveis, somente dois e não mais que dois tetraedros seriam diferentes entre si. Um desses tetraedros é a imagem refletida no espelho do outro, sendo impossível fazer coincidir todos os substituintes, se uma estrutura for sobreposta à outra. (COELHO, 2001, p.24)

Até então, pouco era conhecido sobre diferentes arranjos de ordem espacial nas moléculas. Mas em uma publicação em setembro de 1874 van't Hoff, provou que o arranjo espacial de quatro grupos em torno de um átomo de carbono central era tetraédrico e propôs o termo *quiral* ao carbono assimétrico ligado a quatro diferentes grupos. Essa quiralidade estaria associada à atividade óptica. Dois meses mais tarde, em uma publicação em novembro de 1874 Le Bel fez propostas muito próximas daquelas feitas por van't Hoff (BARBOSA, 2011).

Mas a ideia de que os átomos de uma molécula se organizavam no espaço ainda era considerado um devaneio. Em 1877, um dos mais eminentes químicos orgânicos da época, Hermann Kolbe da Universidade de Leipzig, na Alemanha criticou fortemente as ideias de van't Hoff sobre o arranjo espacial dos átomos. Kolbe escreveu o seguinte:

Há pouco tempo, expressei a opinião de que a falta de educação geral e de um treinamento completo em química foi uma das causas da deterioração da pesquisa de química em Alemanha... Aqueles que pensam que minhas preocupações são exageradas leiam, por favor, se puderem, um recente memorial feito por um certo van't Hoff sobre “Os arranjos dos Átomos no Espaço”, um preparado completamente com a expansão de uma fantasia infantil... Este Dr. J.H. van't Hoff, empregado por uma Escola Veterinária em Utrecht, não tem, ao que parece, sequer gosto pela pesquisa de química acurada. Ele acha mais conveniente cavalgar o seu Pégaso (evidentemente emprestado dos estábulos da Escola Veterinária) e anunciar como, no seu audacioso voo para o Monte Parnaso, viu os átomos arranjados no espaço. (SOLOMONS; FRYHLE, 2001)

Apesar das críticas, anos depois dessa manifestação de Kolbe, já se acumulavam muitas evidências que sustentavam a “fantasia infantil” de van't Hoff. As publicações de van't Hoff e Le Bel marcaram uma importante virada no campo de estudo relacionado com as estruturas das moléculas em três dimensões. Foi a partir de então que a representação

espacial passou a ser utilizada (DIAS, 2009). O início da química estrutural ocorreu com a descoberta da isomeria, abriu caminho para o estabelecimento das fórmulas estruturais e contribuiu para explicar a abundância dos compostos orgânicos, assim, tornando a Química Orgânica mais clara (ESTEBAN, 2008).

Toda essa construção permitiu a compreensão de que para que os produtos químicos funcionem corretamente não basta apenas que os componentes moleculares estejam ligados em sua ordem correta, mas também que os componentes ocupem suas corretas posições no espaço tridimensional. Um posicionamento errôneo pode criar uma química ineficaz, ou um produto químico que pode ter efeitos indesejados; é como “usar a chave errada para abrir uma fechadura.” (PILLI, 2001).

O estudo acerca da forma de uma molécula, ou como a sua estereoquímica, é criada, e como afeta seu comportamento ao longo da história, tem sido de tamanha importância para a ciência que alguns Prêmios Nobel de Química foram concedidos à pesquisadores da área da estereoquímica. Em 1975, por exemplo, o Prêmio foi dividido igualmente entre o croata John Warcup Cornforth “por seu trabalho na estereoquímica de reações catalisadas por enzimas” e Vladimir Prelog “por sua pesquisa na estereoquímica de moléculas e reações orgânicas” (NOBEL PRIZE, 2009). Já o prêmio de 2001 foi concedido aos químicos estadunidenses William Knowlton e Barry Sharpless, e ao químico japonês Ryoji Noyori em função do “Desenvolvimento de catalisadores quirais que permitiram a síntese de moléculas opticamente ativas. (NOBEL PRIZE, 2001).

ESTEREOQUÍMICA NO COTIDIANO

Na área de Ensino de Química existem pesquisas que apontam para a necessidade de valorização dos conhecimentos cotidianos, sendo assim um dos obstáculos para os professores é compreender a organização do conhecimento cotidiano e seu papel na organização do conhecimento científico (LOPES, 1999). No caso estereoquímica, temos inúmeros exemplos que podem ser abordados, desde os mais simples, como o caso da gordura *trans* até o mais complexo como a quiralidade de determinados fármacos. Abordamos a seguir alguns exemplos de estereoisômeros que podem ser relacionados ao cotidiano do aluno.

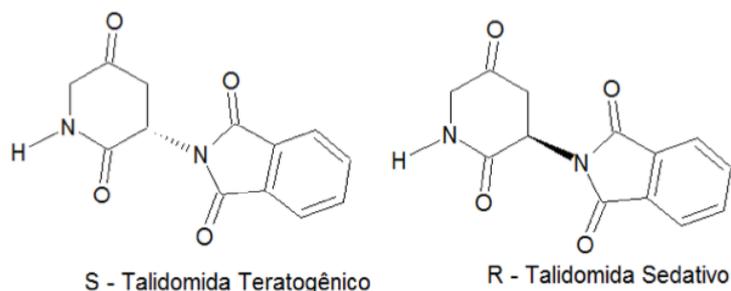
- a) Organismos vivos e a quiralidade: as formas das coisas têm impressionado o homem há séculos. No século início do XIX o mineralogista francês René Just Haüy observou a existência de dois cristais de quartzo que eram diferentes apenas na posição de duas faces. Esses cristais eram imagens especulares um do outro e não eram sobreponíveis. Foram assim denominados enantiomorfos, palavra de origem grega onde *enántios* = opostos e *morfo* = forma. Esses objetos são quirais. (DIAS; SOARES, 2009 BARBOSA, 2011). Não apenas os cristais, mas seres vivos, objetos e moléculas possuem quiralidade. Segundo Pilli (2001, p.22) “Muitos dos compostos que compõem os organismos vivos são quirais, incluindo-se componentes vitais como o DNA, enzimas, proteínas, hormônios e

anticorpos”. Nas plantas podemos observar a trepadeira *Convolvulus arvensis* que se enrosca para a direita enquanto a *Lonicera sempervirens* que se enrosca para esquerda. No reino animal temos um tipo de caracol *Liguus virgineus* que normalmente apresenta um formato de espiral que se enrosca para a direita, mas existem alguns mutantes que se enroscam para a esquerda. Ainda temos o exemplo da bactéria *Bacillus subtilis* que forma colônias em forma de espirais que se enroscam para a direita, as quais, quando aquecidas, passam a se enroscar para a esquerda (BARBOSA, 2011).

- b) Os fármacos e a quiralidade: A quiralidade está relacionada com o efeito farmacológico dos fármacos. Uma vez que a quiralidade é qualidade peculiar que compartilham muitas moléculas biologicamente importantes (BAGATIN, 2005). “Qualquer alteração na orientação espacial desses centros pode conduzir à total inativação do fármaco, à diminuição do efeito biológico ou então ao aparecimento de um efeito contrário, que pode ser extremamente danoso para a saúde dos consumidores” (COELHO, 2001). Por essa razão a IUPAC recomenda uma nomenclatura específica para os casos em que dois enantiômeros possuem potência de ação diferente. O enantiômero de maior ação farmacológica e afinidade pelo receptor é denominado *eutômero* enquanto que o outro enantiômero responsável pelo efeito indesejado é denominado *distômero* (IUPAC, 2012) Os fármacos enantioméricos na sua maioria não são sintetizados de forma estereosseletiva, o que leva à formação de ambos os enantiômeros (ROMERO, 1998) Para separar esses enantiômeros há dificuldades não só de ordem técnica, mas também econômica. Por esses motivos, fármacos enantioméricos quase sempre foram comercializados na forma de misturas racêmicas (MARZO, 1993).

A história do episódio mais clássico da importância da quiralidade nas propriedades farmacológicas teve seu início na década de 1960 na Europa. O nascimento de um número cada vez maior de bebês sem braços e sem pernas, além de outros defeitos, deu início a uma criteriosa investigação. Ao final foi constatado que todas as mães dos bebês deformados tinham ingerido o medicamento Contergan durante a gravidez. O problema é que esse medicamento tinha como princípio ativo a talidomida, composto orgânico que apresenta um átomo de carbono quiral, e conseqüentemente dois isômeros diferentes (Figura 2). Isso ocorre, porque “Fármacos quirais têm em sua estrutura um ou mais átomos com orientação tridimensional muito bem definida. A modificação dessa orientação pode levar à diminuição do efeito biológico, à sua total supressão ou ao aparecimento de um efeito biológico adverso” (COELHO 2011, p.23). O isômero dextrógiro (*R*), de fato tem o efeito farmacológico desejado e induz ao sono, mas o levógiro (*S*) tem propriedades teratogênicas que causaram a chamada catástrofe medicinal atingiu cerca de doze mil crianças no mundo inteiro, excluindo os natimortos, inclusive no Brasil (MARZO, 1993; FRAGA, 2001).

FIGURA 2 – Isômeros da talidomida.



Fonte: autora (2013).

A triste descoberta tornou claro que a organização da estrutura da molécula ao redor de um único átomo de carbono pode dar origem a diferentes compostos: um medicamento ou a uma substância perigosa. Assim a ideia de que em uma mistura racêmica biologicamente ativa, um dos enantiômeros seria responsável pela atividade desejada e o outro inativo foi abandonada (COELHO, 2011). Outro exemplo, associado à mistura de enantiômeros pode ser observado na área de Anestesiologia. A bupivacaína utilizada como anestésico local de longa duração possui efeitos anestésico e analgésico. Na condição de uma mistura racêmica como era utilizada, foi considerada até um problema de saúde pública. Isso porque ambos os isômeros possuem atividade anestésica local, mas apenas o isômero *S* apresenta ação vasoconstritora, prolongando assim a ação anestésica local, enquanto o isômero *R* pode causar a cardiotoxicidade (FERES; FILHO, 2009).

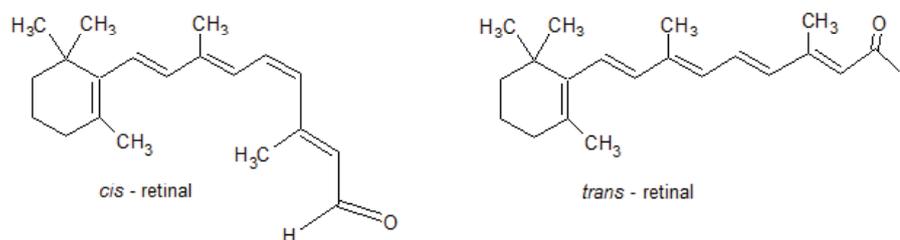
Até meados da década de 80, a maioria dos fármacos era comercializada sob a forma de mistura racêmica. Atividade justificada devido às diversas dificuldades econômicas e tecnológicas para separar os enantiômeros e obtenção do enantiômero puro. Mas a partir da década de 90, devido ao crescente avanço tecnológico tornou-se possível a separação isomérica, a síntese estereoseletiva bem como a estratégia “*chiral pool*”¹ para a obtenção fármacos opticamente puros (FERES; FILHO, 2009). Uma vez que a comercialização e a utilização de medicamentos com estruturas racêmicas é muito ampla, o estudo sobre os estereoisômeros é fundamental, visto que o metabolismo dos seres vivos são altamente relacionados a estereoquímica (BARREIRO; FERREIRA; COSTA, 1997).

Mas essa ampla comercialização de fármacos quirais, aliada aos insucessos do passado faz com que vários países possuam legislação própria quanto ao desenvolvimento e comercialização de fármacos enantioméricos (MARZO, 1993).

¹ Permite a síntese de moléculas opticamente ativas sem a necessidade de reações enantiosseletivas, consiste na utilização de materiais de partida opticamente puros, de baixo custo, geralmente produtos naturais que, após adequadas transformações, promovem a formação estereosseletiva de novos centros estereogênicos por transferência da quiralidade a partir da quiralidade já existente na molécula, normalmente por indução-1,2 (VIEIRA, 2007).

- c) A estereoisomeria relacionada à visão: a retina que apresenta células receptoras da luz que contêm uma substância chamada *cis*-retinal. A incidência de luz provoca a sua transformação em *trans*-retinal, reação que gera um impulso elétrico que é enviado ao cérebro (Figura 3). Lá os impulsos são interpretados, compondo as imagens que vemos. O olho dispõe de mecanismos capazes de reconverter o *trans*-retinal em *cis*-retinal, estando, dessa maneira, pronto para receber mais luz. Em cada segundo, esses eventos se repetem milhões de vezes em nossos olhos. O retinal é produzido pelo organismo a partir da vitamina A (CORREA et al., 2008).

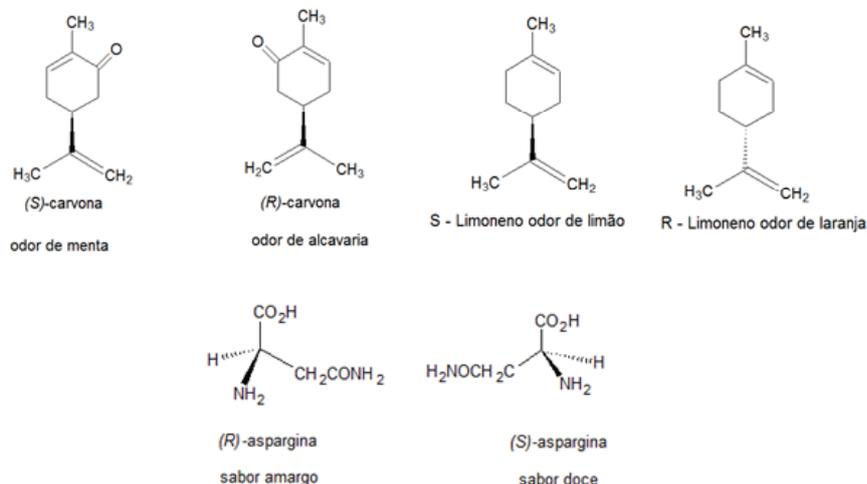
FIGURA 3 – Isômeros do retinal.



Fonte: autora (2013).

- d) Os sabores e aromas dos isômeros: propriedades organolépticas são extremamente dependentes da quiralidade (BARREIRO; FERREIRA; COSTA, 1997); em especial no reconhecimento molecular, pelo organismo, de propriedades como aroma e sabor (Figura 4). O limoneno é um exemplo clássico: a forma *R* apresenta o odor de laranjas, a forma *S* apresenta o odor de limão (BARREIRO; FERREIRA; COSTA, 1997). O principal constituinte aromático do cominho, uma especiaria de sabor picante e levemente amargo, é o isômero (R)-carvona; já o isômero (S)-carvona tem odor de menta é o constituinte majoritário do óleo essencial de hortelã (BARBOSA, 2011). Já o aspartame, um adoçante sintético não calórico, com uso largamente difundido no Brasil e no mundo com a configuração absoluta (S, S) tem sabor doce, enquanto que o seu epímero (S, R) tem sabor amargo (COELHO, 2011).

FIGURA 4 – Exemplos de compostos quirais.

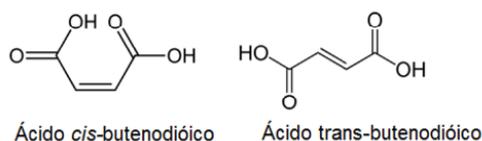


Fonte: autora (2013).

- e) A vila das gorduras – a gordura *trans*: o termo gordura *trans* se popularizou em função da divulgação de possíveis malefícios à saúde decorrentes de seu consumo. Esse tipo de gordura é comum em sorvetes, chocolate diet, salgadinhos de pacote, bolos e tortas industrializados, algumas margarinas, maionese, etc. (RIBEIRO et al., 2007). Em geral, as informações na mídia apenas destacam seus malefícios, sem uma explicação mais concisa (MERÇON, 2010). Óleos e gorduras são substâncias formadas a partir de ácidos carboxílicos longas cadeias carbônicas, conhecidos por ácidos graxos. Os ácidos graxos formadores dos óleos diferem dos formadores das gorduras por possuírem mais insaturações (ligações π) em sua cadeia. Em função da presença de uma insaturação entre átomos de carbono, tem-se a possibilidade de ocorrência dos dois isômeros geométricos: *cis* e *trans*. Em virtude da tensão provocada por dois seguimentos volumosos presentes do mesmo lado da ligação dupla, os isômeros *cis* são termodinamicamente menos estáveis (SOLOMONS; FRYHLE, 2005).
- f) Os ácidos orgânicos e suas distintas propriedades: nesse caso podemos citar a diferença entre os diastereoisômeros do ácido butenedióico (Figura 5), que na sua forma *trans* é nomeado usualmente de ácido fumárico e na forma *cis* é denominado de ácido maleico. Essas duas formas têm propriedades físicas, químicas e até mesmo biológicas bastante distintas, respectivamente: a solubilidade do isômero *cis* é aproximadamente duas ordens de grandeza maior que o *trans*; o isômero *trans* tem a capacidade de formar ligações de hidrogênio intermoleculares enquanto a forma *cis*, de formar ligações de

hidrogênio intramolecular. Finalmente, a forma *trans* faz parte dos processos de produção celular de energia humana enquanto a forma *cis* é tóxica (RAUPP, 2010; FONSECA, 2001).

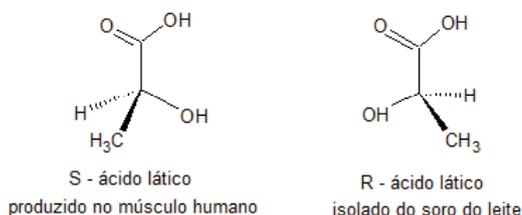
FIGURA 5 – Isômeros do ácido butenodióico.



Fonte: autora, 2013.

O ácido láctico, que por possuir sua estrutura um centro quiral, pode originar dois estereoisômeros (Figura 6). O estereoisômero (R) – ácido láctico que pode ser produzido industrialmente por meio da fermentação bacteriana da lactose; é empregado na neutralização da cal, no curtimento de couros, e na indústria alimentícia, como acidulante. O ácido láctico também é produzido em nosso próprio corpo. Quando metabolizamos glicose pela atividade muscular anaeróbica, o ácido láctico é gerado nos músculos e depois oxidado totalmente a CO_2 e H_2O (LEHNINGER et al., 1995).

FIGURA 6 – Isômeros do ácido láctico.



Fonte: autora (2013).

Esses são apenas alguns exemplos encontrados em livros e artigos. Existem vários outros que podem ser aplicados dentro do contexto e da especificidade de cada curso. Essa associação do conceito científico e sua aplicação no cotidiano pode permitir que os alunos tenham ideia do papel da estereoquímica. Frequentemente os livros didáticos apresentam algum tipo de informação histórica e aspectos que contextualizam o tema. Tendo em vista a grande utilização de livros didáticos no ensino de Química como orientador dos trabalhos em sala de aula (LOGUERCIO; DEL PINO, 2006), buscou-se analisar como a historicidade e a relação com o cotidiano vem sendo abordadas em livros didáticos do Ensino Superior em relação ao tema estereoquímica.

METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO TEMA EM LIVROS DIDÁTICOS

O primeiro passo para a pesquisa foi definir os livros que seriam analisados, para tanto realizou-se uma busca na página do e-MEC para identificar universidades brasileiras que são autorizadas pelo MEC a ofertar os cursos de Química Industrial, Química Licenciatura e Química Bacharelado. Após a etapa de identificação dessas instituições, foi realizada uma busca nas páginas dos cursos de modo a verificar as ementas e planos de ensino de disciplinas de Química Orgânica que abordam o conteúdo em discussão. Nos documentos aos quais se obteve acesso, buscamos identificar os livros indicados na bibliografia. Dentre as universidades em que encontramos essas informações, podemos citar: UFRGS, ULBRA-RS, UFRJ, UFSM, FTPR, UFSC, UFMG, UNESP, UNICAMP, USP. Dos livros indicados, optou-se por quatro livros (Tabela 1) que apresentaram maior frequência na indicação de bibliografia básica da disciplina para análise e discussão.

TABELA 1 – Livros analisados.

Livro	Título	Autor(es)
A	Química Orgânica 4 ed. Vol. 2	Paula Yurkanis Bruice
B	Química Orgânica 9 ed. Vol. 2	Graham Solomons, Craig Barton
C	Química Orgânica 6 ed. Vol. 2	John McMurry
D	Introdução à Química Orgânica 2 ed.	Luiz Cláudio de Almeida Barbosa

Fonte: autora (2013).

Nos livros selecionados, foram analisados os capítulos referentes à estereoquímica de acordo com duas diferentes abordagens: uma com foco na historicidade e outra com foco na contextualização.

- a) *Relação com a história da ciência*: utilizou-se como critério de análise uma das dimensões propostas por Laurinda Leite em sua metodologia para analisar o conteúdo histórico de livros didáticos de Ciências, publicada em artigo na Revista *Science & Education* (LEITE, 2002). A dimensão considerada como mais relevante foi a: *Tipo e organização da informação histórica*, uma das dimensões de análise. Essa dimensão possui subdivisões que oferecerem diretrizes para uma análise abrangente e foi escolhida, pois é uma dimensão comumente utilizadas em livros que buscam a utilização de uma abordagem relacionada a história. A dimensão pode ser subdividida em i) Cientistas: informações sobre dados biográficos, características pessoais, episódios etc. e ii) Evolução da ciência: menção ou descrição de uma descoberta científica.

- b) *Conteúdo relacionado ao cotidiano*: para a análise do conteúdo relacionado ao cotidiano nos livros, selecionamos as ocorrências que são abordadas de forma contextualizada.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A seguir análise de acordo com as duas diferentes abordagens propostas na metodologia.

a) Análise do conteúdo relacionado à história da ciência

Quanto a *Informação histórica relacionada aos cientistas*, todos os livros analisados mencionam cientistas que fizeram parte do desenvolvimento da estereoquímica. Após identificação dos nomes mencionados no capítulo que aborda a estereoquímica utilizamos as classificações proposta por Leite (2002) para identificar a presença de informações sobre a vida do cientista, como *dados biográficos* (nascimento, morte, nacionalidade etc.), *características pessoais* (casado com, herdou a fortuna da família, foi preso etc.) e por fim *episódios* (contribuições científicas, desenvolveu..., recebeu prêmio, descobriu... etc.). Na classificação “Cientistas Mencionados” foram considerados todos os nomes mencionados; mesmo aqueles que não apresentam informações relativas à sua vida de acordo com a subdivisão “Vida dos cientistas” apresentada no Quadro 2. Depois da identificação dos cientistas mencionados, investigou-se a frequência de citação de cada subdivisão.

Ao analisar o Quadro 2, podemos observar que com exceção do Livro B, no qual os autores citam apenas episódios dos cientistas, os livros A, C e D contém informações históricas que incluem dados biográficos como nascimento, morte, nacionalidade, informações sobre carreira, episódios da vida pessoal, acadêmica e profissional, além das contribuições científicas. O nome do cientista aparece no corpo do texto, relacionando-o à sua descoberta/contribuição no campo da estereoquímica. Além disso, na respectiva página há um quadro em destaque que aborda as informações biográficas, características e episódios relacionados aos cientistas.

QUADRO 2 – Tipo e organização da informação histórica – Cientistas.

	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D
Cientistas mencionados	Emmil Fischer Robert Sidney Cahn Sir Christopher Ingold Vladmir Prelog John Cornforth William Nicol Joseph Alchille Le Bel Jacobus van't Hoff Jean Baptise Biot Louis Pasteur Eilhardt Mitscherlich Johannes Martin Bijvoet Perrdeman Bommel Frank H. Westheimer	Louis Pasteur Jacobus van't Hoff Joseph Alchille Le Bel Robert Sidney Cahn Sir Christopher Ingold Vladmir Prelog	Jean Baptise Biot Louis Pasteur Robert Sidney Cahn Sir Christopher Ingold Vladmir Prelog Johannes Martin Bijvoet	René Just Hauy William Nicol Louis Pasteur Jacobus van't Hoff Joseph Alchille Le Bel Emmil Fischer Johannes Martin Bijvoet Robert Sidney Cahn Sir Christopher Ingold Vladmir Prelog
Vida dos Cientistas	Informações Biográficas (12) Características Pessoais (6) Episódios (12)	Informações Biográficas (0) Características Pessoais (0) Episódios (5)	Informações Biográficas (2) Características Pessoais (2) Episódios (2)	Informações Biográficas (6) Características Pessoais (6) Episódios (6)

Fonte: autora (2013).

O Livro A destaca-se pelo detalhamento da informação relacionada aos cientistas, preocupando-se em fornecer informações biográficas e características de doze dos quinze cientistas que são abordados no texto. O subcapítulo *Desenhando enantiômeros* aborda o uso de fórmulas em perspectiva ou projeções de Fischer. “Um atalho – chamado projeção de Fischer – para mostrar o arranjo tridimensional dos átomos ligados a um carbono assimétrico foi inventado por Emil Fischer no final do século XVII.” (BRUICE, 2006, p.185) Após atribuir a invenção e explicar cada um dos elementos da projeção, bem como os conceitos a ela relacionados, o autor apresenta um quadro de destaque com uma foto do cientista e a seguinte trecho:

Emil Fischer (1852-1919) nasceu numa vila próxima a Colônia, na Alemanha. Tornou-se químico contra a vontade de seu pai, um comerciante de sucesso que gostaria de ver seu filho no negócio da família. Foi professor de Química na Universidade de Erlangen, Würzburg, e de Berlim. Em 1902 recebeu o Prêmio Nobel de química por seu trabalho a respeito dos açúcares. Durante a Primeira Guerra Mundial, organizou a produção química da Alemanha. Dois de seus três filhos morreram na guerra. (BRUICE, 2006, p.185)

Nesse pequeno parágrafo o autor traz informações biográficas, características da vida acadêmica, pessoal e profissional; além de comentar alguns episódios. Em relação à forma de apresentação da informação histórica, o Livro A é o único que apresenta imagens dos cientistas. Nesse livro os cientistas Bijvoet, Peerdman e van Bommel são os únicos que não aparecem com destaque especial na formatação do livro, contendo apenas a informação de que os químicos são de nacionalidade alemã e estão relacionados com o desenvolvimento de uma técnica para determinação da configuração absoluta das substâncias. Também é o livro que cita o maior número de episódios, comentando sobre quando Vladimir Prelog “fugiu para Suíça pouco antes da invasão do exército alemão” (BRUICE, 2006, p.186), ou quando Biot “foi preso por fazer parte de um movimento de rua durante a Revolução Francesa” (BRUICE, 2006, p.192). No Livro C seis cientistas são citados, mas informações relativas à vida dos cientistas são destacadas apenas para dois: Jean Baptise Biot e Louis Pasteur Jacobus subcapítulo *Pasteur descobre os enantiômeros*. No trecho a seguir podemos verificar a descrição do início da pesquisa de Pasteur sobre os enantiômeros.

Muito pouco foi feito após a descoberta da atividade óptica por Biot até que Pasteur iniciasse seu trabalho em 1849. Pasteur teve sua formação acadêmica em química, mas se interessava pelo estudo da cristalografia. Ele começou a trabalhar com os sais cristalinos do ácido tartárico obtidos a partir do vinho e estava repetindo algumas medidas publicadas alguns anos antes quando fez uma descoberta surpreendente. (MCMURRY, 2005, p.276)

No livro B, não são evidenciadas informações relativas a vidas dos cientistas. Apesar de conter um subcapítulo denominado *Origem histórica da estereoquímica*, que apresenta menos de uma página de conteúdo, há destaque apenas para episódios como, a crítica de Kolbe à vant' Hoff, as ideias de Le Bel, e o comentário “O Prêmio Nobel de Química em 1901 foi concedido a J.H. van't Hoff.” (SOLOMONS; FRYHLE, 2001, p.183) Ao referir-se aos cientistas Robert Sidney Cahn, Sir Christopher Ingold, Vladimir Prelog no subcapítulo que trata sobre regras de sequência para a especificação da configuração *R, S* com a seguinte colocação: “Três químicos, R.S. Cahn (Inglaterra), C.K. Ingold (Inglaterra), V.Prelog (Suíça) desenvolveram um sistema de nomenclatura [...]” (SOLOMONS; FRYHLE, 2001, p.184). No Livro D há informações sobre os cientistas relacionados aos conceitos apresentados no capítulo, tanto no corpo do texto quanto em notas de destaque na lateral direita do livro.

Quanto à *Evolução da Ciência*, buscou-se relacionar fatos onde é possível identificar o papel dos cientistas no desenvolvimento dessa área. Esses fatos relacionado à evolução da estereoquímica podem ser encontrados no Quadro 3. A seguir os fatos encontrados foram classificados quanto ao tipo de evolução. Nessa dimensão a categoria “Menção a uma descoberta científica” revela superficialidade quanto à informação histórica uma vez que apenas menciona o fato, enquanto a categoria “Descrição de uma descoberta científica”, descreve com maiores detalhes os aspectos referentes à descoberta.

O sistema de nomenclatura *R,S*, por exemplo, é um fato citado por todos os autores. No Livro A, a criação é classificado como *Menção a uma descoberta*, pois no subcapítulo que trata da nomenclatura de isômeros a única referência que pode ser encontrada sobre esse fato é: “Para qualquer par de enantiômeros com um carbono assimétrico um deles terá a **configuração R** e o outro terá a **configuração S**. (BRUICE, 2006, p.185). A mesma descoberta é descrita no livro D como uma evolução na resolução de um problema nesse campo e por isso é classificada como “Descrição de uma descoberta”:

Embora seja possível representar os diversos isômeros com fórmulas tridimensionais, é difícil traduzir em palavras o arranjo espacial dos átomos nas moléculas. Para resolver esse problema, os químicos ingleses R.S. Cahan e C. Ingold, juntamente ao suíço V. Prelog, propuseram um sistema de nomenclatura que, associado as regras da IUPAC já apresentadas, permitisse descrever claramente os estereoisômeros de determinado composto. (BARBOSA, 2011, p.151)

QUADRO 3 – Informação histórica relacionada à evolução da estereoquímica.

	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D
Fato relacionado à evolução da estereoquímica	Criação da Projeção de Fischer Nomenclatura R,S Descoberta da quiralidade Separação de enantiômeros	Descoberta da estereoquímica Separação de enantiômeros Nomenclatura R,S	Atividade óptica Descoberta dos enantiômeros Nomenclatura R,S	Polarímetro Descoberta da Quiralidade Talidomida Nomenclatura R,S Convenção D,L Fischer-Rossanóf
Tipo de evolução	Menção a uma descoberta científica Descrição de uma descoberta científica	Menção a uma descoberta científica	Menção a uma descoberta científica Descrição de uma descoberta científica	Menção a uma descoberta científica Descrição de uma descoberta científica

Fonte: autora (2013).

O Livro A apresenta uma descrição bem detalhada sobre a descoberta da atividade óptica A descrição que ocupa três páginas do capítulo, detalha o experimento com a luz plano polarizada, tanto com o primeiro prisma desenvolvido quanto com o polarímetro. Cita os cientistas envolvidos nos experimentos, apresenta os conceitos de substancia opticamente ativas e inativas diferencia as denominações *dextro* e *levo* do sistema de nomenclatura *R,S* e demonstra os cálculos utilizados na determinação da rotação específica das substâncias. O livro A traz a descrição da descoberta da determinação da configuração absoluta para todas as substâncias, conforme verificamos no trecho a seguir:

Em 1951, os químicos alemães J.M. Bijvoet, A.F. Ferrdeman e A.J. Bommel usando cristalografia de raio X e uma nova técnica conhecida como dispersão

anômala, determinaram que o sal de rubídio e sódio no ácido tartárico tinha configuração R,R. Como o ácido (+)- tartárico poderia ser sintetizado a partir do (-)-gliceraldeído, esse último tinha de ser o enantiômero S. A suposição que do (+)-gliceraldeído tinha a configuração R correta! (BRUICE, 2006. P.209)

E no livro C encontramos uma descrição minuciosa sobre a descoberta e separação de enantiômeros por Pasteur em 1849, como podemos observar em um trecho do subcapítulo *Pasteur descobre os enantiômeros*.

Ao recristalizar uma solução concentrada de tartarato de amônio abaixo de 28°C, observou a precipitação de dois diferentes cristais. Pasteur também observou que esses cristais eram imagem especular um do outro e estavam relacionados entre si do mesmo modo como a mão direita se relaciona com a esquerda. Trabalhando cuidadosamente com uma pinça, Pasteur foi capaz de separar os cristais em duas porções, uma de cristais “destros” e outra de cristais “sinistros”[...] (MUCMURRY, 2005, p.276)

No Livro B temas que são considerados como parte da evolução da estereoquímica como, por exemplo, a atividade óptica e a quiralidade, que poderiam ser abordados dentro de uma perspectiva de evolução da área, são abordados apenas de forma conceitual. No livro D há a descrição detalhada da descoberta da quiralidade das moléculas que ocupa duas páginas do capítulo de estereoquímica.

b) Análise do conteúdo relacionado ao cotidiano

Nessa etapa buscamos identificar os aspectos que são abordados de forma contextualizada e, em todos os livros, foi possível observar a relação estabelecida entre o conceito, a aplicação e se essa informação era fundamental, estando contida ao longo do texto ou até mesmo com destaque em quadros ou subseção, ou era apenas uma informação complementar, sem destaque e que pode até mesmo passar despercebida pelos estudantes (Quadro 4). Essa categoria foi baseada em outra dimensão proposta por Leite (2002), Status da informação histórica.

QUADRO 4 – Relações com o cotidiano.

	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D
Ocorrências contextualizadas	Tetraciclina Glutamato monossódico Naxopreno Clorafenicol Efedrina Ácido tartárico Carvona Talidomida Colesterol Drogas Quirais Enzimas	Trepadeira Limoneno Talidomida Carvona Metildopa Penicilamina Ibuprofeno Naxopreno DNA	Carvona Cicutina Mentol Dextrometorfano Treose Enflurano Alanina Limoneno Fluoxetina Penicilina Ibuprofeno	Cristais de Quartzo Bactérias Trepadeira Caracol Aspargina Carvona Talidomida Placobutrazol
Status da informação contextual	Complementar (9) Fundamental (2)	Fundamental (9)	Complementar(12)	Complementar (4) Fundamental (4)

Fonte: autora (2013).

Nos livros A, C e D as relações são apresentadas de maneira complementar, em alguns casos com uma simples menção, em exercícios ou no final do capítulo. O Livro A em um de seus problemas resolvidos, apresenta a seguinte questão seguida pela estrutura da tetraciclina: “A tetraciclina é chamada antibiótico de amplo espectro porque é ativa contra uma grande quantidade de bactérias. Quantos carbonos assimétricos a tetraciclina possui?” (BRUICE, 2006, p.183). Situação igual ocorre para o realçador de sabor glutamato monossódico, o anti-inflamatório Naxopreno, o antibiótico Clorafenicol, o broncodilatador Efedrina. A talidomida e as drogas quirais são abordadas em um quadro de destaque no subcapítulo que aborda a *Discriminação de enantiômeros por moléculas biológicas*.

Nesse mesmo subcapítulo encontramos dois exemplos de informação fundamental onde duas substâncias são apresentadas em um contexto fundamental para a compreensão do conceito. O primeiro exemplo aborda o reconhecimento de enantiômeros por moléculas quirais e o uso de enzimas na separação enantiomérica. O segundo exemplo aborda a diferença de odor detectado por nossos receptores localizados nas células nervosas do nariz que diferenciam os isômeros da Carvona.

O Livro B tem um subcapítulo que aborda especificamente as drogas quirais, citando drogas como: anti-hipertensivos, antibióticos e analgésicos. Aborda qual dos isômeros tem ação farmacológica desejada, questões sobre misturas racêmicas e separação enantiomérica. Ressalta ainda a importância da síntese estereoseletiva e comenta sobre o prêmio Nobel de 2001. Todos os exemplos são abordados de forma contextualizada, com os conceitos que estão sendo apresentados.

No livro C todas as ocorrências estão presentes nos exercícios e problemas do capítulo. O Livro D apresenta na introdução do capítulo uma abordagem centrada em fatos relacionados ao cotidiano para relacionar elementos como cristais de quartzo, bactérias, trepadeiras e caracóis ao conceito de quiralidade e cita “Há diversos outros exemplos de manifestação de quiralidade na natureza, até mesmo em nível molecular [...]” (BARBOSA, 2011, p.145). Mas os exemplos em nível molecular são apresentados apenas como informação complementar citando: “Apesar de muito parecidas, as substâncias quirais podem apresentar várias propriedades, como cheiro e sabor, além de diversas propriedades biológicas, completamente diferentes [...]” (BARBOSA, 2011, p.148).

De maneira geral, os livros analisados apresentam informações históricas e relacionadas com o cotidiano. Alguns com destaque, outros como uma informação complementar. Os principais cientistas que fazem parte da construção desse campo também são citados, apenas um dos livros não apresenta informações biográficas dos cientistas citados ao longo do texto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de estereoquímica pode ser um desafio não só para estudantes, como também para os professores, pois além de desenvolver estratégias que possibilitem a compreensão de conceitos científicos, tem de enfrentar a falta de motivação para o estudo de química. Nesse sentido, consideramos que o ensino de um conteúdo como a estereoquímica, cuja trajetória histórica inicia no século XIX, como sendo um bom exemplo de como o conhecimento científico é construído por diferentes cientistas ao longo dos anos. Além disso, a singularidade de compostos que apresentam a mesma forma molecular, mas propriedades diferentes e as aplicações no cotidiano podem ser utilizadas pelo professor com um fator motivacional para o estudo do tema.

A análise desses livros didáticos utilizados no Ensino Superior revela a preocupação dos autores em apresentar informações históricas e relacionadas com o cotidiano, mesmo que em diferentes níveis de aprofundamento e com abordagens distintas. Informações fazem desses livros didáticos valiosos recursos para um ensino de estereoquímica aos professores que buscam uma abordagem mais ampla do tema e não somente restrito à conceitos científicos, como classificação, estruturas, propriedades e nomenclatura.

REFERÊNCIAS

- BAGATIN, O.; SIMPLÍCIO, F. A.; SANTIN, S. M. O.; FILHO, O. S. Rotação de Luz Polarizada por Moléculas Quirais. *Química Nova na Escola*, v.21, 2007.
- BAKER, R. W.; GEORGE, A. V.; HARDING, M. M. Identification and rectification of student difficulties concerning three-dimensional structures, rotation, and reflection. *Journal of Chemical Education*, v.75, n.7, p.757-853, 1998.
- BARBOSA, L. C. A. *Introdução à Química Orgânica*, 2.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011, 331p.

BARREIRO, E. J.; FERREIRA, V. F.; COSTA, P. R. R. Substâncias Enantiomericamente Puras (SEP): a questão dos fármacos quirais. *Química Nova*, v.20, n.6, 1997.

BRASIL. *Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química*. Ministério da Educação – Conselho Nacional de Educação/Câmara de Educação Superior, Brasília. 2001.

BRUCE, P. Y. *Química Orgânica*. 4.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006, 590p.

CARDOSO, S. P.; COLINVAUX, D. Explorando a motivação para estudar Química. *Química Nova*. v.23, n.3, 401, 2000.

CHASSOT, A. *Catalisando transformações na Educação*. 3.ed. Ijuí: Editora Unijuí, 1993, 174p.

COELHO, F. A. S. Fármacos e Quiralidade. *Química Nova na Escola*, n.3, 2001.

CORREIA, P. R. M.; DONNER JR, J. W. A. Mapeamento conceitual como estratégia para romper fronteiras disciplinares: a isomeria nos sistemas biológicos. *Ciência e Educação*, v.14, n.3, 2008.

CROSLAND, M. P. *Historical Studies in the Language of Chemistry*. London: Heinemann, 1962, 406p.

DAMAZIO, Ademir. *O desenvolvimento de conceitos matemáticos no contexto do processo extrativo do carvão*. Florianópolis: UFSC, 2000. Tese de Doutorado.

DIAS, A. G.; SOARES, R. O. Quiralidade em moléculas cristalinas. *Química Nova*, v.32, n.8, 2009.

ESTEBAN, S. Liebig-Wöhler Controversy and the Concept of Isomerism. *Journal of Chemical Education*, v.85, n.9, 2008.

EVANS, G. G. Stereochemistry in the terminal course. *Journal of Chemical Education*, v.40, 1963.

FERES, M. V.; CUNHA FILHO, M. C. C. Medicamentos Quirais: direito à patente ou pseudoinovação? XVIII Congresso Nacional do CONPEDI. *Anais...* São Paulo, 2009.

FONSECA, M. R. M. *Completamente Química: Química Orgânica*. São Paulo: FTD, 2001.

FRAGA, C. A. Razões da Atividade Biológica. *Química Nova na Escola*, n.3, 2001.

GABEL, D. Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, v.70, n.3, 1993.

GOUVEIA-MATOS, J. A. M. Pasteur: ciência para ajudar a vida. *Química Nova na Escola* v.6, 1997.

HODSON, D. *Teaching and Learning science – Towards a personalized approach*. Buckingham: Open University Press, 1998.

IUPAC. *Compendium of Chemical Terminology*, 2nd ed. (the “Gold Book”), 2012. Disponível em: <<http://goldbook.iupac.org>>. Acessado em: 23 maio 2013.

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*, v.30, 1993.

KOZMA, R.; CHIN, E.; RUSSELL, J.; MARX, N. The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning. *Journal of the Learning Sciences*, v.9, n.2, 2000.

KURBANOGU, N. I.; TASKESENLIGIL, Y.; SOZBILIR, M., Programmed instruction revisited: A study on teaching stereochemistry, *Chemistry Education Research and Practice*, v.7, n.1, 2006.

LEHNINGER, A. L.; NELSON D. L. *Princípios de Bioquímica*. New York: Sarvier, 1995.

LEITE, L. History of science in science education: Development and validation of a checklist for analysing the historical content of science textbooks. *Science & Education*, Dordrecht, v.11, n.4, 2002.

LIMA, J. F. L.; PINA, M. S. L.; BARBOSA, R. M. N.; JÓFILI, Z. M. S. Contextualização no ensino de Cinética Química. *Química Nova na Escola*, n.11, 2000.

LOGUERCIO, R. Q.; SOUZA, D. O.; DEL PINO, J. C. A educação e o livro didático. *Educação*, n.48, 2002.

LOGUERCIO, R. Q.; DEL PINO, J. C. Em defesa do filosofar e do historicizar conceitos científicos. *Revista História da Educação*, n.23, 2007.

LOPES, A. R. C. *Conhecimento escolar: ciência e cotidiano*. Alice Ribeiro. Casimiro Lopes. Rio de Janeiro: EdUERJ, 1999, 236p.

MARZO, A. *Bollettino Chimico Farmaceutico*, v.132, 1993.

MCMURRY, J. *Química Orgânica*. 6.ed. v.1, São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.

MERÇON, F. O que é uma Gordura Trans? *Química Nova na Escola*. v.32, n.2, maio 2010.

NOBEL PRIZE. The Nobel Prize in Chemistry 1975: John Cornforth, Vladimir Prelog. Disponível em: <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1975>. Acessado em: 2 maio 2013.

PAIVA, A. P. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*, v.103, p.56, 2006.

PILLI, R. A. Catálise assimétrica e o prêmio Nobel 2001. *Química Nova na Escola*, v.14, 2001.

RAUPP, D. T. Um estudo de caso sobre a compreensão de conceitos químicos mediante visualização de representações computacionais 3D utilizando o referencial de Campos Conceituais. Dissertação de mestrado, PPGECIM, ULBRA, 2010.

RIBEIRO, A. P. B.; MOURA, J. M. L. N.; GRIMALDI, R. E. Gonçalves. Interesterificação química: alternativa para obtenção de gorduras zero *trans*. *Química Nova*, v.30, n.5, 2007.

ROMERO, J. R. *Fundamentos de Estereoquímica dos Compostos Orgânicos*. Ribeirão Preto: Holos, 1998, 108p.

SALATIEL, E.; VIENNOT, L. ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontaneo de los estudiantes? *Enseñanza de las Ciencias*, v.137, 1985.

SANTOS, J. L.; CHIN, C. M. Anemia falciforme: desafios e avanços na busca de novos fármacos. *Química Nova*, v.35, n.4, 2012.

SANTOS, W. L.; MORTIMER, E. F. A dimensão social do ensino de Química: um estudo exploratório da visão de professores. II ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. *Anais...* Valinhos, 1999.

SHELDON, R. A. *Chirotechnology – Industrial Synthesis of Optically Active Compounds*, New York: Marcel Dekkerinc, 1993.

SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C. B. *Química Orgânica*, v.1, 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

SUH, II-H; PARK, K. H.; JENSEN, W. P.; LEWIS, D. E. Molecules, Crystals, and Chirality. *Journal of Chemical Education*. v.74, 997.

WU, H. K.; SHAH, P. Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, v.88, n.3, 2004.