

Princípios para o ensino de representações estruturais dos compostos orgânicos

Principles for the teaching of structural representations of organic compounds

Caio de Souza Silva^a, Hélio da Silva Messeder Neto^b

^a Secretaria de Educação do Estado da Bahia, Salvador, Brasil; ^b Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

Resumo. A bibliografia aponta que, no campo da química orgânica, uma das especificidades para a sua compreensão perpassa pela apropriação do conjunto de signos que denominamos de representações estruturais de compostos. O seu ensino deve ser pensado para além das formas por si só, isto é, na sua relação com o essencial do conteúdo. Desse modo, a mobilização dos fundamentos da Psicologia Histórico-Cultural e da Pedagogia Histórico-Crítica e a partir dos estudos sobre a história da elaboração das representações estruturais de compostos orgânicos, possibilitou a formulação teórica de princípios didáticos. Esses princípios são apresentados neste trabalho no intuito de orientar os professores na sua prática docente, deixando evidente que a aprendizagem das representações perpassa por: a) estabelecer uma unidade dialética entre os níveis macroscópicos e submicroscópicos dos fenômenos químicos; b) apontar as necessidades humanas para a elaboração das representações; c) tornar consciente a transição entre diferentes representações. Tais princípios não devem ser tomados como receitas, mas como orientadores para um ensino de química orgânica concreto.

Palavras-chave:
Representações
Estruturais, Química
Orgânica, Ensino de
Química, Pedagogia
Histórico-Crítica,
Psicologia Histórico-
Cultural.

Submetido em
03/09/2024
Aceito em
15/04/2025
Publicado em
30/04/2025

Abstract. The literature indicates that, in the field of organic chemistry, one of the specificities for its comprehension lies in the appropriation of a set of signs termed structural representations of compounds. Its teaching must be conceptualized beyond mere forms—that is, in relation to content. Thus, by mobilizing the foundations of Historical-Cultural Psychology and Critical-Historical Pedagogy, along with studies on the history of the development of structural representations of organic compounds, it becomes possible to formulate theoretical didactic principles. These principles are presented in this work to guide teachers in their pedagogical practice, emphasizing that learning structural representations involves: a) establishing a dialectical unity between the macroscopic and submicroscopic levels of chemical phenomena; b) highlighting human needs underlying the development of these representations; c) fostering conscious awareness of transitions between different representations. These principles should not be taken as recipes, but as guidelines for concrete organic chemistry teaching.

Keywords: Structural
Representations,
Organic Chemistry,
Chemistry Education,
Historical-Critical
Pedagogy, Historical-
Cultural Psychology.

Introdução¹

A preocupação com o processo de ensino e aprendizagem da Química no meio acadêmico não é uma novidade. Muitos esforços são debruçados sobre a área de educação química com o objetivo de estabelecer melhoria na aprendizagem dos alunos na compreensão da realidade que os cerca a partir desta ciência.

Com o intuito de contribuir com esse campo, alguns estudos mostraram que não há como aprender química sem compreender a linguagem dela (Chassot, 2017). Isso porque, assim como toda ciência, a química possui especificidades na sua forma de pensar os fenômenos e

¹ Esse artigo foi feito a partir da dissertação de mestrado escrita pelo primeiro autor e orientada pelo segundo autor.

de comunicar ideias entre aqueles que se envolvem com ela. Essas especificidades da linguagem química se apresentam numa variedade de novos símbolos, como as representações de elementos químicos, equações químicas, fórmulas químicas, estruturas moleculares, entre outras.

Os trabalhos de Roque e Silva (2008) e Cedran *et al.* (2018) apontam que a problemática da aprendizagem da química pode ser atribuída, dentre outras coisas, pela dificuldade em estabelecer as necessárias relações entre os entes químicos do mundo submicroscópico e do macroscópico. Isso ocorre porque a linguagem química atribuída ao microcosmo, que não pode ser percebido pelos órgãos do sentido, causa estranheza a quem está iniciando nesta Ciência. Deste modo, as representações simbólicas exercem o papel de mediador da compreensão entre o mundo microscópico e o macroscópico.

Silva (2021) destaca que a apropriação de qualquer ciência, antes de tudo, é uma prática social e cultural. O indivíduo não aprende a pensar, expressar e/ou usar o pensamento científico sem estabelecer um vínculo na prática social com a ciência. Nesse sentido, Messeder Neto (2015) diz que a dificuldade na aprendizagem da química, especialmente para os filhos da classe trabalhadora, não é um problema pontual nesta ciência, muito menos no indivíduo, mas, sim, um problema social que está atrelado à negação cultural deste conhecimento à classe desfavorecida.

Como professor/pesquisador da educação básica, uma inquietação específica que surge no trabalho pedagógico é sobre a dificuldade que os alunos tinham em aprender os fenômenos relacionados à química orgânica. Para enfrentar essa problemática, buscamos trabalhos que pudessem justificar o porquê dessa dificuldade e que também auxiliassem na elaboração de novas práticas pedagógicas, visando a melhoria do ensino. Muitos dos trabalhos encontrados focalizam as discussões da solução à problemática na forma de ensino, propondo, assim, jogos (principalmente da memória), experimentos, criação de modelos moleculares, utilização de softwares e a cotidianização dos conteúdos (Almeida *et al.*, 2017; Andrade Neto *et al.*, 2009; Haraguchi & Silva, 2021; Oliveira *et al.*, 2012; Silva Júnior & Bizerra, 2015).

Essas novas estratégias são importantes como opções para a forma do ensino, mas que precisam ser sobre determinadas pelo conteúdo a ser ensinado. Nossa concepção é a de que focar a atividade docente a partir de uma nova forma de ensino – sem pensar no que do conteúdo é essencial e o que é acessório para compreender o fenômeno químico e se apropriar de conceitos – possivelmente nos levará a um ensino vazio. No entanto, os trabalhos citados acima, de certo modo, apresentam a forma como algo genérico que cabe a qualquer conteúdo, sem estabelecer o porquê da sua relação.

Para Marcondes *et al.* (2015) os principais problemas vinculados à aprendizagem de química orgânica podem ser sintetizados em três pontos: a) o fato de ser desvinculada dos demais conteúdos da química; b) ter foco em operações de identificação, classificação e nomenclatura de compostos orgânicos; c) não contextualização.

Silva e Messeder Neto (2021) apontam que um pilar primordial para a compreensão dos fenômenos da química orgânica é a aprendizagem das representações estruturais dos compostos, como elemento mediador entre os níveis macroscópicos e submicroscópicos da

realidade química. No entanto, apesar dos trabalhos aqui listados fazerem apontamentos de destaque, ainda há uma carência de elementos teóricos que possam orientar o professor na construção de práticas pedagógicas que melhor articulem forma e conteúdo e possam contribuir com o debate para um melhor ensino da química orgânica. Tais elementos teóricos que permitem essa articulação vêm sendo denominado em diversos trabalhos de princípios didáticos, princípios pedagógicos ou princípios para organização do ensino (Magalhães, 2023; Messeder Neto, 2022; Oliveira, 2021; Pasqualini, 2010; Silva, 2021). Deste modo, para diminuir esta lacuna de pesquisa, *o objetivo deste artigo é apresentar princípios didáticos gerais orientadores do ensino das representações estruturais dos compostos orgânicos.*

Tomamos a Pedagogia Histórico-Crítica (PHC) como parte do nosso arcabouço teórico por considerarmos que seria possível, a partir dela, compreender o papel do trabalho pedagógico e seu processo de forma concreta. Além disso, ela concebe que a escola precisa ser um espaço privilegiado de sistematização de saberes e comprometido com a classe trabalhadora, visando instrumentalizá-la para superar o modo de sociabilidade atual, isto é, a partir de uma educação que leva em consideração as multideterminações dos indivíduos que comungam desse espaço escolar.

Como nosso objetivo de pesquisa perpassa por apresentar princípios que ganharão funcionalidade na dinâmica da sala de aula, nada mais coerente do que trazer para o embasamento uma teoria pedagógica. Essa, por sua vez, considera que a função do trabalho educativo:

É o ato de produzir, direta e intencionalmente, em cada indivíduo singular, a humanidade que é produzida histórica e coletivamente pelo conjunto dos homens. Assim, o objeto da educação diz respeito, de um lado, à identificação dos elementos culturais que precisam ser assimilados pelos indivíduos da espécie humana para que eles se tornem humanos e, de outro lado e concomitantemente, à descoberta das formas mais adequadas para atingir esse objetivo. (Saviani, 2011, p. 13).

Nesse sentido, os professores precisam desenvolver um trabalho pedagógico que consiga atingir a aprendizagem dos alunos sobre determinado conteúdo, de modo que estes sejam capazes de compreender a realidade ao seu entorno como uma totalidade. Para isso, é preciso saber o que é central na aprendizagem de determinado conteúdo e a forma de ensiná-lo para que se consiga atingir tal objetivo sem perder de vista o destinatário a quem se dirige esse ensino.

Além do referencial pedagógico, também mobilizamos a Psicologia Histórico-Cultural (PsiHC), elaborada e desenvolvida pelo grupo formado por Vigotski, Leontiev, Luria, Morozova, Levina, Zaporozhets, Sakharov e seguidores. Afinal, os autores e autoras citados concebem o processo de elaboração e desenvolvimento do conhecimento como um processo psicológico que emerge dos modos de vida dos indivíduos em interação com a cultura, assumindo, deste modo, que é por meio da linguagem que as funções psicológicas superiores vão se constituindo.

Antes de apresentar os princípios didáticos para o ensino das representações estruturais dos compostos orgânicos, faremos uma exposição do percurso metodológico que culminou na elaboração dos mesmos. Entender esse percurso irá situar o leitor de como o encontro entre

os referenciais teóricos utilizados, a realidade e o estudo do movimento histórico do conteúdo fizeram emergir, em nossa compreensão, novas proposições teóricas.

A definição de princípio e o percurso metodológico

Os princípios didáticos se configuraram como enunciados genéricos que medeiam a totalidade educativa com a realidade imediata encontrada pelo professor em seu trabalho docente. Nesse sentido, necessitam ser colocados em um contexto específico (singularidade) para adquirir o seu caráter prático efetivo. Só o professor, imerso na prática social local, poderá fazer esse movimento de transpor para a singularidade as proposituras dos princípios didáticos, visto que só ele conhece as condições específicas do contexto em que está inserido. Desse modo, essas proposições jamais devem ser entendidas como um receituário do que fazer na prática pedagógica.

Desse modo, não desejamos aqui formalizar passos lineares e mecânicos que expressam uma sistematização da lógica formal da ação pedagógica, pois, assim, chegaríamos erroneamente em procedimentos de ensino descolados da realidade do contexto escolar. Além disso, não queremos negar que o professor não deva elaborar procedimentos de ensino durante o seu planejamento da aula. Os procedimentos, técnicas e ferramentas de ensino devem, sim, ser empregados na prática docente, porém, não cabe aos princípios didáticos formular ou ditar sobre essas questões sem conhecer as condições concretas do ambiente escolar que cada professor está inserido.

Pasqualini (2015) deixa explícita a ideia de que:

A sistematização de princípios para a organização do ensino equivale a formular enunciados sintéticos de caráter geral (e, portanto, abstrato) que possam nortear o planejamento e a efetivação da atividade docente nas (diversas e singulares) situações concretas de ensino. Consideramos que esse tipo de formulação teórica pode exercer um influxo significativo sobre a prática pedagógica em sala de aula sem, contudo, incorrer na formulação de “receituários” que pudesse supostamente ser aplicados em quaisquer contextos dispensando a análise das especificidades das condições particulares e singulares enfrentadas pelo professor. (Pasqualini, 2015, p. 201).

Ao se apropriar dos princípios, o professor dispõe de uma ferramenta teórica que possibilita orientar seu agir pedagógico frente à realidade que se mostra. Munido do princípio, quando o professor estiver ante a um problema no seu trabalho, o princípio precisa ser mutável o suficiente para se transformar ao incorporar, por mediação do professor, esta característica da realidade singular (o problema) que não está dada explicitamente no enunciado do princípio (Magalhães, 2023). O princípio ajuda o professor não só a dar justificativas teóricas para o seu trabalho, mas, a partir destas justificações, põe a direção para que docentes concretizem, na prática mesmo, o trabalho de ensinar de modo qualificado (Magalhães, 2023).

É preciso evidenciar que já existem formulações de princípios didáticos gerais, a partir da Pedagogia Histórico-Crítica, que norteiam e unificam o trabalho pedagógico de todos os professores. No entanto, eles não dão conta das especificidades que cada área do conhecimento exige no momento da prática pedagógica.

Por exemplo, no livro escrito por Galvão *et al.* (2019, p. 139), os autores propõem como um dos princípios fundamentais que “a didática histórico-crítica caracteriza-se por uma atividade cuja dimensão ontológica não pode ser desconsiderada”. Isto é, não podemos perder de vista a necessidade da compreensão do trabalho educativo como uma atividade humana e, portanto, como um campo de compreensão mais amplo da realidade global e não como meros procedimentos. Assim, devemos pensar, por exemplo: Qual o tipo de educação e sociedade que temos? Qual o tipo de sociedade que queremos? Como a minha prática pedagógica pode contribuir para a superação desta forma de sociabilidade?

Para que o trabalho pedagógico leve em consideração a especificidade do objeto de ensino e o torne qualificado é necessário apreciar, além dos aspectos fundamentais da didática geral, também os princípios didáticos específicos do objeto de conhecimento a ser ensinado.

Em vista disso, podemos citar outro exemplo, o qual aparece no trabalho desenvolvido por Oliveira (2021) sobre avaliação da aprendizagem de química e sugere, em um dos princípios, que o processo avaliativo deve considerar a multiplicidade de formas para avaliar o essencial do conteúdo e seu destinatário. Nesse princípio, a autora estabelece uma genericidade que orienta os professores de que a avaliação de química não deve ser apenas de uma forma engessada – uma prova, na maioria das vezes –, mas que há diferentes formas a serem exploradas no processo avaliativo, como experimentos, modelagem, seminários, investigações, júri simulado etc. No entanto, ela deixa claro que a forma avaliativa não deve ser previamente definida sem que haja a mediação do professor para a realidade singular em que está inserido.

Isto nos leva a pensar em alguns aspectos: a) cada conteúdo químico ensinado possui formas mais adequadas para captar e avaliar aquilo que é mais essencial, pois em uma avaliação de história talvez não seria tão produtivo utilizar modelagem; b) as condições objetivas devem ser levadas em consideração, pois não dá para sugerir avaliações experimentais sem os materiais básicos necessários; c) as especificidades dos estudantes não podem passar despercebidas, visto que uma avaliação a partir de interpretações de imagens não contemplaria estudante cegos. Deste modo, percebemos que o princípio, ao mesmo tempo que é geral, se realiza no singular quando transposto para certa condição da realidade.

Mas como os princípios pedagógicos para o ensino de representações de química orgânica foram definidos? Partindo do referencial do materialismo histórico-dialético, um dos elementos importantes está no conhecimento do objeto para além da sua aparência, de modo teórico-científico (Netto, 2011). Deste modo, se o objetivo era pensar princípios orientadores para o ensino de representações tratava-se de pensar como a área de ensino de química vinha tratando o ensino desses conceitos.

Neste sentido, embasado pelos referenciais, foram pesquisados trabalhos que buscavam discutir sobre a linguagem da química orgânica, em específico as representações moleculares, e o seu desdobramento no ensino a partir da utilização de sites de busca da internet de modo sistematizado, em portais como o da Capes, bases de dados e repositórios, utilizando de palavras chaves como: “representações estruturais e ensino de química”, “ensino da linguagem da química orgânica”, “ensino das estruturas de moléculas orgânicas”. Como as buscas mostraram poucos resultados, expandimos para trabalhos que envolviam a linguagem

e o ensino de química no geral, utilizando das seguintes palavras chaves: “linguagem química”, “ensino de química e linguagem”, “aprendizagem da linguagem química”. Isso porque esse campo de estudo da linguagem é relativamente consolidado na área e poderia nos mostrar as tendências e as discussões que estão ocorrendo sobre esse aspecto do ensino de química, porém sem perder de vista o objetivo.

Foi feita uma triagem de todo o material recolhido, a partir da leitura do título, resumo, referenciais adotados, sumário, introdução e, por vezes, algumas passagens do texto quando necessárias até que se pudesse ter uma concepção, a fim de selecionar aqueles que pudessem contribuir com o entendimento do objeto. Nesse sentido, percebemos uma carência de trabalhos que tratam do caso específico das representações estruturais como parte integrante da linguagem química. O que nos levou a inferir que as discussões sobre a linguagem química, no âmbito do ensino, são tomadas como um todo, sem distinções das especificidades de que cada conteúdo merece (Almeida, 2014; Flor & Cassiani, 2012; Lavarda & Pereira, 2019)

Se o trabalho versava sobre linguagem e representações fizemos um estudo sistemático da famosa obra de Vigotski (2009) traduzida para o Brasil como “A construção do pensamento e da linguagem”. Investigando o papel da linguagem e suas relações com o pensamento e estudando os trabalhos da área chegamos a nossa primeira síntese teórica que foi enunciada como primeiro princípio: O ensino de representações estruturais de compostos orgânicos como unidade entre os níveis macroscópicos e submicroscópicos. Tal princípio não fez uma transposição mecânica do caráter mediador do signo em Vigotski, mas responder o que na química as representações medeiam, a resposta foi encontrada nos níveis macroscópicos e submicroscópicos que são constitutivas dessa Ciência.

“O ensino da necessidade histórica das representações estruturais”, surgiu como segundo princípio também a partir das nossas incursões pelo materialismo histórico-dialético. Tanto Saviani (1996) como Leontiev (1978) apontam a necessidade de se pensar historicamente o conceito de modo a perceber que seu ensino só ganha relevância à medida que a necessidade histórica é conhecida pelos alunos. Não há apreensão consciente dos conceitos, neste caso das representações orgânicas, se não tivermos clareza do que levou à construção daquela forma de acessar os elementos do real. Ou seja, sem a necessidade histórica que levou a construção da miríade de representações orgânicas, não há aprendizagem que leve ao processo de apropriação do conceito em sua forma mais desenvolvida (Davidov, 1988a).

O terceiro princípio deste artigo intitulado “O ensino da multiplicidade das representações e suas transições conscientes” veio do estudo da história das representações ancorados principalmente nos trabalhos de Araújo Neto (2007), Beltran (2013), Camel (2010), Cedran e Santin Filho (2019), Geison e Secord (1988), Nogueira e Porto (2019) e Ramberg e Somsen (2001). Tal estudo evidenciou que são muitas as representações da química orgânica que foram surgindo ao longo da história. Tais representações nas suas variedades foram cruciais para resolverem problemas específicos desse ramo do conhecimento e por isso, quando pensadas para o processo de ensino entendemos que a transição entre representações precisa ser também a realização da transição de formas de significações no pensamento do aluno (Vigotski, 2009).

Assim, de maneira sucinta, esclarecemos que foi a partir desse movimento de olhar para a história do conteúdo iluminados pelo nosso referencial teórico, a fim de solucionar um problema didático, que foram sistematizados princípios para o ensino de representações estruturais dos compostos orgânicos, os quais detalharemos a seguir.

Princípios didáticos para o ensino de representações estruturais de compostos orgânicos

Foi a partir de tal compreensão sobre princípios didáticos que pudemos nos apropriar do conteúdo químico em questão no seu processo lógico-histórico, para poder apontar caminhos para seu ensino.

Princípio 1: O ensino de representações estruturais de compostos orgânicos como unidade entre os níveis macroscópicos e submicroscópicos

As representações estruturais dos compostos orgânicos são objetivações humanas que se constituíram para mediar os níveis macroscópicos e submicroscópicos do conhecimento químico. A necessidade de explicar os fenômenos que eram observados macroscopicamente levou o ser humano a desenvolver formas de acessar o nível submicroscópico da matéria, sendo as representações estruturais uma unidade mínima que possibilitou essa compreensão mediada (Silva & Messeder Neto, 2021). Nesse sentido, o ensino das representações nos parece relevante quando o professor tem como horizonte disponibilizar instrumentos para que os alunos possam enxergar a realidade além da sua aparência imediata, em busca de uma consciência que capte a realidade na sua essência de forma concreta.

Alguns livros didáticos de química que consultamos, como os de Fonseca (2016), Mortimer e Machado (2013), Antunes (2013) e Santos e Mól (2013), começam a tratar do estudo da química orgânica especificamente do estudo das representações estruturais de compostos orgânicos, tomando como partida as características do elemento químico carbono de forma isolada. Por conseguinte, são apresentadas a tetravalência, tipos de ligações, entre outras características, e isso acaba, muitas das vezes, sendo reproduzido pelos professores que tomam o livro didático como base para a sua prática em sala de aula.

Essa forma de tratar o ensino das representações direciona o começo do estudo pela parte isolada, não configurando a unidade essencial para a compreensão dos fenômenos, como concebemos. Isso nos parece ser um dificultador da aprendizagem do estudante, pois, para explicar as propriedades dos fenômenos da química orgânica de forma geral, necessitou-se do ente mediador, entre os níveis macro e submicro, a representação estrutural como um todo. Deste modo, não se pode, primordialmente, decompor essas estruturas nos seus elementos constituintes, pois as propriedades do carbono, por exemplo, não constituem, por si, as propriedades inerentes à explcação das propriedades das substâncias.

Vigotski (2009) cita um exemplo sobre a análise química da água, decompondo-a em seus constituintes hidrogênio e oxigênio. Ao realizar esse desmembramento, percebe-se que os elementos isolados não contêm as propriedades que são inerentes ao todo (substância água)

como tal e possuem variedades de propriedades que nunca poderiam ser encontradas nesse todo. Nesse sentido, Vigotski (2009, p. 6) afirma que, “no fundo, a análise que nos leva a produtos que perderam as propriedades inerentes ao todo nem chega a ser propriamente análise do ponto de vista do problema a cuja solução ela se aplica”.

Nessa sequência, advogamos para um ensino que supere o método de análise baseado na decomposição em elementos, dando outro enfoque, por meio de uma análise que desmembra a unidade do fenômeno químico em unidades várias, de modo que, diferentemente dos elementos, não percam as propriedades inerentes à totalidade e que são suscetíveis de explicação, mas contenham, em sua forma primária e simples, aquelas propriedades do todo que está sendo analisado.

Podemos tomar o exemplo da representação estrutural do ácido etanoico (Figura 1):

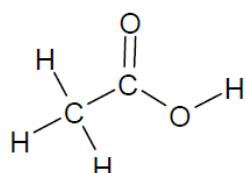


Figura 1. Representação estrutural do ácido etanoico

A representação estrutural do ácido etanoico, assim como as demais representações estruturais, possui como função mediar os níveis macroscópicos e submicroscópicos do conhecimento químico. Ao mesmo tempo em que carrega as características essenciais capazes de explicar as propriedades fenomênicas da substância (como viscosidade, solubilidade, temperatura de ebulição, reatividade etc.), também contém as características que se relacionam com a estrutura molecular (como as forças de interações moleculares e seu momento de dipolo, geometria, os tipos de ligações químicas, os elementos químicos constituintes etc.). Essa relação entre as características dos dois níveis não é dada a priori e nem é tácita. É o professor, no processo de ensino, quem precisa tornar evidente as influências recíprocas que existem entre eles, influências que se configuram em uma unidade indissociável para o conhecimento químico no modo atual.

As representações estruturais dos compostos orgânicos se configuram como um conjunto de símbolos que possuem significações socialmente estabelecidas, como generalizações, como conceito e, assim como a palavra, desempenha um papel importante no processo de desenvolvimento do pensamento teórico. Essa importância está relacionada ao desenvolvimento das abstrações do real, como forma de análise para se chegar à concreticidade dos fenômenos químicos.

A internalização desses signos promove uma requalificação da dinâmica interna do sistema psíquico abrindo um universo de possibilidades para o desenvolvimento do indivíduo. É através dele que podemos acessar efetivamente a realidade concreta através da mediação do abstrato. Ainda assim, Vigotski (2009) nos ensina que o ato mediado por signo introduz profundas mudanças no comportamento humano, posto que entre a resposta da pessoa e o estímulo do ambiente se interpõem o novo elemento designado signo.

Nesse sentido, as aulas deveriam ter como horizonte instalar a contradição entre a aparência (aquilo que se mostra imediatamente no fenômeno) e a essência (aquilo que é captado do fenômeno a partir da sua análise), e isso só se dá na relação empiria-teoria, mediada pela representação. A essência, de fato, está na estrutura interna, nas contradições, nas multideterminações, na dinâmica, nas leis gerais e na historicidade do objeto/fenômeno. Os traços essenciais são expressões de leis gerais e universais que regem o objeto, que possibilitam explicar não somente aquilo que é dado imediatamente, mas de todo um conjunto de fenômenos. Qualquer um desses polos tratados de forma unilateral não alcança as potencialidades de um ensino pautado na lógica dialética.

Adotar essa perspectiva no ensino das representações pode nos possibilitar caminhar na direção de formar um pensamento teórico. Um “pensamento que põe em evidência a essência dos objetos, as leis internas de seu desenvolvimento” (Davidov, 1988b, p. 109). Ainda assim, é o pensamento teórico, pautado na lógica dialética, que deixa evidente o movimento, as passagens e o desenvolvimento, pois examina as coisas de acordo com a natureza própria delas.

Nesse momento, iremos citar um exemplo de como o professor pode conduzir sua atividade pedagógica tomando como fundamento o princípio em questão. É importante evidenciar que não queremos dar uma receita pronta do que fazer, e nem cair na didatização, mas pretendemos dar materialidade na compreensão do princípio através de uma situação hipotética.

Em uma aula de química, o professor pretende ensinar sobre a temática de combustíveis. Ele certamente falará sobre o etanol, a gasolina, o gás natural, o GLP, o diesel, o biodiesel e entre outras substâncias. A partir disso, ele pode destacar as propriedades e características de cada uma das substâncias que compõem os combustíveis citados, como o estado físico na temperatura ambiente, os pontos de fusão e ebulição, a viscosidade, a solubilidade em água, a volatilidade etc. As propriedades de cada substância podem ser comparadas umas com as outras. Os alunos irão perceber diferentes propriedades para os diferentes combustíveis.

Além de comparar as propriedades fenomênicas de cada combustível, faz-se necessário também compreender a estrutura dos seus meios de produção, compreender as matérias-primas que lhes dão origem e os processos físico-químicos envolvidos, entender a geopolítica por trás do monopólio de certos combustíveis, a acentuação na desigualdade social atribuída à posse de certos combustíveis, as questões ambientais relacionadas à utilização deles e diversos outros aspectos que integram a prática social multideterminada dessas substâncias de certo modo.

No entanto, o professor precisa conduzir os alunos a pensar que, para justificar quimicamente as percepções que temos desses combustíveis, precisamos superar aquilo que nos é dado de forma imediata no nível macroscópico e passar para a compreensão do nível submicroscópico da realidade, integrando-os. Esse movimento se dá a partir da relação entre as propriedades com as representações estruturais moleculares. Acreditamos que é nesse caminho de instaurar a unidade contraditória entre os fenômenos macroscópicos e as estruturas dos entes submicroscópicos que possivelmente produzirá sentido para o aluno em estudar as representações estruturais, dotado de conteúdo real e significação.

É preciso ficar evidente para o aluno que foram necessidades humanas concretas que moveram os cientistas em buscar na constituição das substâncias as respostas. Nesse sentido, foram elaboradas formas para acessar o mundo submicroscópico (não visível), intangível aos seres humanos, de forma direta. Assim, foi por meio de representações das estruturas que pudemos compreender como a natureza funciona para além do que vemos e/ou sentimos.

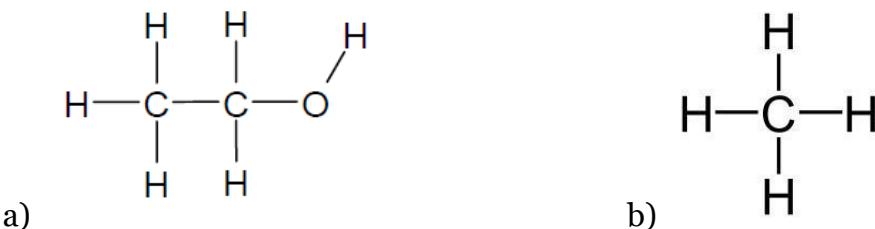


Figura 2. a) representação estrutural do etanol; b) representação estrutural do metano (principal componente do gás natural).

É importante destacar para o aluno que: 1) as moléculas representadas por essas estruturas não estão sozinhas, mas em um aglomerado de inúmeras moléculas e interagindo entre si para que possam gerar as propriedades das substâncias. Apesar de focarmos na representação da unidade mínima de análise, é importante deixar claro que ela só ganha materialidade, dinâmica, nas suas relações com as outras moléculas. E, além disso: 2) a representação estrutural do metano, etanol e de outras substâncias não é uma cópia de como realmente a molécula é; são apenas formas de simbolizar para que possamos melhor estudá-las e compreender a realidade ao nosso redor. Por isso, as representações podem ser de diferentes formas, como veremos nos princípios seguintes.

É importante evidenciar que utilizamos as substâncias dos combustíveis para exemplificar situações hipotéticas de ensino sobre essas substâncias e que o professor tem total autonomia para conduzir a sua aula, desde que tome como fundamento o ensino das representações estruturais dos compostos a partir da unidade dialética entre o nível macroscópico e submicroscópico da realidade.

Princípio 2: O ensino da necessidade histórica das representações estruturais

Um dos fundamentos importantes para a compreensão da dinâmica do objeto ou fenômeno em estudo é a sua elaboração histórica. Para captar a sua essência, é necessário desenvolver em relação a eles uma atividade que reproduza, pela sua forma, os traços essenciais da atividade encarnada (sua necessidade histórica), acumulada no objeto (Leontiev, 1978).

Nessa direção, para que haja sentido na apropriação dos conteúdos da química, é crucial que os alunos tenham a percepção da necessidade dos conceitos para a compreensão da realidade concreta que estão inseridos. O horizonte para um ensino que proporcione a compreensão do mundo de forma concreta está intimamente relacionado com uma prática pedagógica que consiga, durante o processo, levar os estudantes a entenderem o conhecimento como parte da sua vida real e não apenas como significações exteriores à dinâmica da realidade, como se fossem conteúdos que somente servirão para responder uma avaliação da unidade escolar.

Estudar as representações estruturais dos compostos orgânicos dentro do seu movimento histórico nos permitiu identificar as necessidades que levaram os cientistas a elaborarem tais signos, na tentativa de avançar na compreensão da realidade posta. E é nesse movimento, pautado na necessidade histórica, que elaboramos o segundo princípio didático.

De acordo com Cedro e Moura (2007), compreender que os conteúdos possuem uma história ligada ao desenvolvimento social implica saber com quem se inter-relacionam, como se desenvolvem e com quem eles fazem fronteiras. Em vista disso, um ensino pautado na história do conteúdo tem como pretensão levar o pensamento do aluno a reproduzir o processo histórico real em toda sua objetividade, complexidade e contrariedade, apreendendo, assim, em que se estrutura esse conceito e a sua dinâmica real. Desse modo, “ao estudarmos a história do desenvolvimento real do objeto, estamos criando as premissas indispensáveis para o entendimento mais profundo da sua essência, que somente se revela por meio da generalização” (Cedro & Moura, 2007, pp. 42-43). Assim, nossa perspectiva vai ao sentido de construir um pensamento dinâmico, de inter-relações, de captação da essência, da instauração do movimento contraditório e da superação por incorporação. Para isso, a historicidade dos conteúdos é indispensável no ensino.

Em termos didáticos, Messeder (2019) nos sugere que:

Trabalhar com a história do desenvolvimento dos conceitos é uma estratégia de ensino que tem como um dos objetivos mostrar ao estudante que a elaboração desses conceitos surgiu a partir da demanda social apresentada num determinado momento histórico, com base em necessidades humanas reais. (Messeder, 2019, p. 45).

É importante evidenciar que não é desejável, em termos didáticos, que os professores façam um tratado histórico linear sobre a elaboração e o desenvolvimento das representações estruturais de forma detalhada nas suas aulas, apesar de compreendermos a sua importância. Isso, por três motivos: 1) porque não há tempo hábil para que seja feito nas aulas de química; 2) porque nem sempre o caminho da elaboração e desenvolvimento dos conteúdos na história são os mais didáticos possíveis; 3) porque, na nossa compreensão materialista histórico-dialética, é o mais desenvolvido que explica o menos desenvolvido, e não o contrário.

É oportuno destacar que não se trata de contar uma historiografia evolutiva, ou muito menos de apontar fases sucessivas da elaboração das representações com alguns nomes dos cientistas. O objetivo não é contar a história das representações, mas é, a partir da história, buscar sua compreensão, o que é bastante diferente (Gouvea, 2020).

Nessa direção, cabe ao professor se apropriar do movimento histórico do objeto e organizar sua atividade pedagógica, levando em consideração os limites e as possibilidades, pois é a partir desse todo que será possível criar e organizar um planejamento de aula que procure as problemáticas e as necessidades que levaram os seres humanos na formulação dessas representações. Quem ensina precisa dominar os sistemas conceituais do objeto que se pretende ensinar nas suas diversas determinações.

Assim sendo, defendemos aqui uma prática de ensino que esteja alinhada com as necessidades históricas que levaram homens e mulheres, os quais se envolviam com a química, na empreitada da criação desse conjunto de símbolos.

As necessidades históricas tornam evidente o motivo pelo qual a humanidade se mobilizou para criar os signos (as representações estruturais), podendo intermediar os entes macro e submicroscópicos da realidade na sala de aula. Além de desmistificar uma ciência concebida como revelação aos grandes nomes taxados como gênios, evidencia, também, que o conceito não é revelado aos seres humanos misticamente, muito menos “salta aos olhos” a partir da mera observação, mas que depende do momento histórico pelo qual a humanidade estará passando, intimamente interconectado com as necessidades objetivas. É mostrar para os alunos que a ciência se desenvolve a partir de contradições, de embates de ideias, de problemas, de necessidades que seres humanos reais encontravam na sua prática social.

Outro ponto que merece destaque é que as necessidades são coletivas, mesmo aquelas que se manifestam a partir de um indivíduo, pois, assim, ganham sentido coletivamente. As necessidades são fundamentos para que a humanidade tome, como um problema a ser solucionado, as questões objetivas que ainda não possuem resoluções e aponte para a elaboração do novo (Saviani, 1996).

Dotados da compreensão de que as elaborações do conteúdo em questão perpassam pelo entendimento do movimento histórico, pelos motivos e pelos objetivos de responder às questões que surgiam à humanidade, podemos pensar em algumas formulações que podem nos conduzir às necessidades históricas de elaboração das representações estruturais que captamos a partir do nosso estudo sobre o movimento histórico desse conteúdo: qual a necessidade de se pensar em uma relação entre os fenômenos observáveis com uma distribuição espacial dos átomos em uma molécula? Qual a necessidade de se pensar em estruturas cíclicas? Qual a necessidade de deixar os símbolos de alguns elementos implícitos em algumas formas de representação? Qual a necessidade de representar estruturas em três dimensões levando em consideração a posição das ligações no espaço? Qual a necessidade de um carbono tetraédrico e não planar? Qual a necessidade de formular diferentes projeções para um mesmo composto químico?

Para todas as questões anteriores, e outras que possam surgir, há uma resposta histórica que mobilizou os cientistas nesta busca. Sempre há um motivo pelo qual nos colocamos em atividade e é nesse motivo que fundamentamos o presente princípio. O professor precisa encontrar os motivos, as necessidades que sejam coerentes com a elaboração da representação que deseja ensinar, para que possa colocar o aluno em atividade. Por isso a importância dos professores terem pleno domínio do conteúdo a ser ensinado aos alunos nas suas variadas determinações.

É importante deixar claro que, em certa medida, a defesa da presença da história dos conteúdos nas aulas de química não é novidade. Entretanto, embora essa defesa apareça, esse trabalho se coloca no sentido de não defender qualquer história, mas uma história que aponte para as necessidades.

Nos mesmos livros didáticos que consultamos (apresentados na subseção anterior: Antunes (2013), Fonseca (2016), Mortimer e Machado (2013) e Santos e Mol (2013)), encontramos que é comum iniciar o estudo das representações estruturais dos compostos orgânicos sem que seja apresentado as necessidades históricas que levaram os seres humanos à elaboração.

Uma organização do ensino das representações considerando o movimento lógico-histórico consegue captar as multideterminações e a essencialidade desse conteúdo, possibilitando o professor uma atividade pedagógica mais próxima do movimento real do objeto de ensino. Consequentemente, a apropriação do conteúdo a partir desta perspectiva pelo estudante possibilita a compreensão dos fenômenos da química orgânica mais próxima da prática social historicamente acumulada.

Para a aprendizagem de um conceito nas máximas possibilidades, de acordo com Davidov (1988a), se faz necessário a apropriação das necessidades que levaram a humanidade à sua elaboração.

Em vista disso, introduzimos uma questão que pode exemplificar este princípio didático aqui discutido: afinal, qual a necessidade da estrutura do carbono ser tetraédrica e não planar?

Pelo movimento histórico de elaboração, desenvolvimento e consolidação das ideias sobre as representações estruturais que estudamos, percebemos que a geometria tetraédrica para o carbono surgiu a partir da necessidade de justificar a atividade óptica que algumas soluções de compostos orgânicos apresentavam. A ideia era: quando quatro átomos ou grupos diferentes estivessem ligados ao carbono, este adquiriria uma assimetria se essas ligações estivessem apontadas para os vértices de um tetraedro; o que não acontecia em uma estrutura planar. Essa assimetria, então, permitia que os grupos distintos ligados ao carbono pudessem ser arranjados de dois modos diferentes, sendo um modo a imagem do outro no espelho (Figura 3).

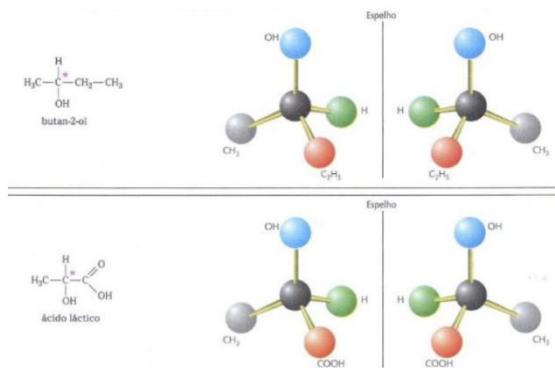


Figura 3. Carbonos assimétricos do butan-2-ol e do ácido láctico (Villela, 2011).

Essas formulações surgiram a partir da necessidade de se explicar os fenômenos ópticos perceptíveis, de modo que permaneciam coerentes com o número de isômeros observáveis, tendo uma relação entre os aspectos macroscópicos e submicroscópicos, como uma unidade de contrários. Foi nesse sentido que os químicos da época rejeitaram as fórmulas planares para o átomo, pois estas eram simétricas e não teriam efeito nenhum na luz polarizada, e também porque prediziam um número maior de isômeros do que o observado.

Chamamos a atenção para o fato de que cada professor, dotado do entendimento sobre o movimento lógico-histórico das representações dos compostos orgânicos, tem liberdade para organizar sua atividade pedagógica, selecionando e recriando as necessidades históricas a partir do conteúdo que pretende ensinar. Esse caminho para o ensino é o qual consideramos

mais próximo de colocar o estudante em atividade, criando os motivos para a apropriação dos conteúdos e conduzindo-o ao pensamento que capte a realidade no seu movimento, nas suas contradições, nas suas variadas determinações, na sua essência, na sua concreticidade.

Princípio 3: O ensino da multiplicidade das representações e suas transições conscientes

A partir do estudo histórico, pudemos perceber a variedade de tipos de representações estruturais que foram criadas pelos cientistas ao longo da história. Todas elas foram elaborações que tentaram estabelecer uma relação entre os aspectos macroscópicos e submicroscópicos da realidade. As novas necessidades que foram sendo colocadas para os indivíduos que se envolviam com a química moveram os esforços para a compreensão dos fenômenos na direção dessas novas formulações simbólicas.

É importante reforçar que nenhum tipo de representação das estruturas carrega a completude do ente químico representado, mas possui os traços essenciais necessários para explicar um determinado conjunto de fenômenos químicos, o que caracteriza o processo de simbolização. As representações estruturais são objetivações da imagem subjetiva que os cientistas elaboraram com base na dinâmica com a realidade, a partir da apropriação fenomênica e indo em direção à captação da essência. Nesse sentido, estabeleceu-se uma relação de unidade entre os níveis macroscópicos e submicroscópicos da realidade. Desse modo, as representações do real nunca serão absolutas e, por isso, comportam distorções e limitações (Martins, 2020).

À medida que diferentes fenômenos foram sendo percebidos, novas determinações iam sendo colocadas, novas necessidades iam surgindo, requerendo diferentes modos de representação estrutural para explicá-los. Nesse sentido, podemos afirmar que, dependendo da necessidade de compreensão do fenômeno, utilizaremos de diferentes modos de representações. A melhor opção de representação a se utilizar irá depender do objeto em estudo e sua dinâmica. No entanto, é preciso ter atenção nas transições entre essas diferentes formas de representação, para que o aluno não pense equivocadamente que se trata de diferentes entes.

Um ponto que não pode passar despercebido na nossa discussão é o fato de que, para o indivíduo que está aprendendo sobre a representação estrutural, é uma questão crucial perceber o que é diferente e o que é idêntico, tanto na relação entre a representação e o ente químico representado quanto na relação entre diferentes formas de representações para o mesmo ente. A princípio, pode nos parecer óbvio, mas não o é para aqueles que estão iniciando o estudo da representação estrutural. O signo é um construto cultural e histórico, por isso, aprendê-lo não é algo tácito, muito menos natural. Todos os símbolos e significados que fazem parte do arcabouço do significado do signo devem ser detalhados e esclarecidos para que não haja equívoco na compreensão.

Cada uma das figuras abaixo demonstra uma possibilidade de se representar a estrutura da molécula de butano, de modo que o melhor tipo de representação ficará subjugado à necessidade de compreensão do fenômeno. O papel essencial do professor na sua prática é colocar o aluno frente às diferentes formas de representação, mas não necessariamente todas

possíveis, mostrando que, para cada uma delas, existem limites e potencialidades de compreender determinados fenômenos. Além de que há uma necessidade histórica por trás da formulação dessas diferentes formas de representar certo ente químico.

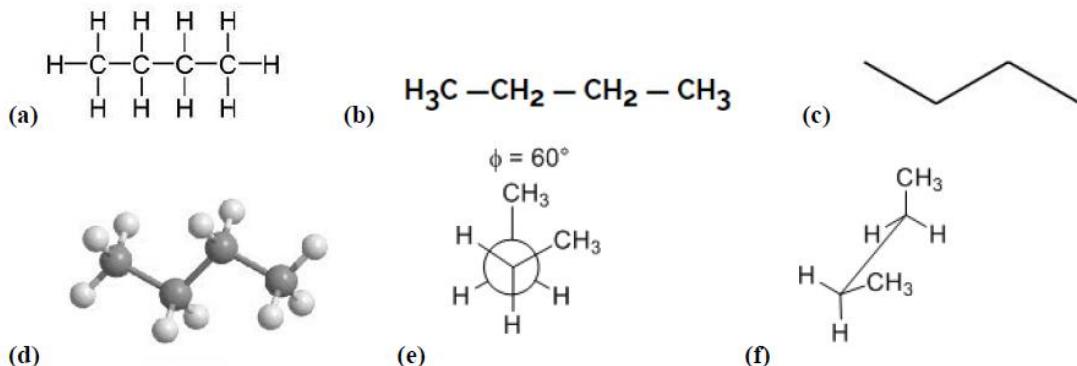


Figura 4. (a) representação simples; (b) representação condensada; (c) representação em linhas; (d) representação tridimensional; (e) representação em projeção de Newman; (f) representação cavalete (Fonte: (a), (b) e (c) Elaborado pelos autores; (d) Butano, 2019; (e) e (f) Adaptado de Aguillon, 2015)

Além disso, saber transitar entre um tipo e outro de representação é crucial para o caminho de desenvolvimento do pensamento químico que almejamos proporcionar ao aluno. Para nós, professores, parece-nos óbvia a relação entre essas diferentes representações, mas, para o estudante que está iniciando, esse conjunto de símbolos se apresenta de forma confusa, e é papel do docente propiciar a organização do pensamento do indivíduo, conduzindo-o para a compreensão dessa transição representacional. Ou seja, a transição precisa adquirir um caráter consciente.

Esse cuidado nas transições não são percebidos nos mesmos livros didáticos que consultamos (Antunes, 2013; Fonseca, 2016; Mortimer & Machado, 2013; Santos & Mol, 2013), pois as representações estruturais, desde o início, ora aparecem em geometria plana, ora aparecem na forma tetraédrica em perspectiva tridimensional, sem que haja um cuidado e um alerta sobre essa transição, deixando implícito que o aluno seja capaz de realizar essa transição por si só e que isso não vá gerar uma confusão no seu entendimento.

Avançar para a compreensão da relação e saber transitar entre os diferentes modos de representação são pontos cruciais para que a generalização do conceito vá adquirindo níveis cada vez mais desenvolvidos. Desse modo, o significado das estruturas vai se libertando de um único exemplar e o pensamento do estudante passa a tratar como se as diferentes representações fossem sinônimas de uma mesma palavra usada em contextos distintos. Nesse sentido, apropriar-se das diferentes formas de representar o ente químico possibilita organizar o pensamento, analisar e agir na realidade através dos significados que esses signos carregam, pois enriquece a generalização que os próprios significados representam e os desenvolve.

Tomemos como exemplo a transição entre a representação simples (Figura 4a) para a representação em linhas (Figura 4c). A necessidade de representar o ente químico na forma de linhas surgiu para que se pudesse poupar espaço e tempo quando as estruturas

moleculares são muito extensas. Em vista disso, os cientistas propuseram deixar implícitos os átomos de carbono e hidrogênio, pois são os mais presentes e característicos dos compostos orgânicos. Desse modo, aponta-se para o butano: 1) em cada vértice e em cada ponta há a presença de um átomo de carbono; 2) cada linha representa uma ligação simples entre os átomos de carbono; 3) em cada carbono completa-se sua tetravalência com os átomos de hidrogênio. Tornar explícito aquilo que está implícito na representação de linhas (Figura 4c) e comparar com a representação simples (Figura 4a) é um caminho possível para que o professor vá mostrando os pontos que devem receber a maior atenção dos alunos nessa transição.

O movimento de transitar entre as representações precisa ser ensinado aos alunos para que as representações ganhem cada vez mais um caráter de generalização e para que a representação não fique parecendo uma cópia do ente químico, pois sabemos que nenhuma representação poderá carregar a completude do ente representado, além de mostrar que as necessidades determinam novas elaborações. O professor precisa transformar a compreensão sobre as representações estruturais da relação com um exemplar para a generalização, tornando-o signo, tornando-o conceito.

Para além das diferentes formas de representações que colocamos acima, também vale abordar a importância de se representar em diferentes suportes (papel, modelos físicos do tipo bola-vareta, gestos, animações visuais, softwares, massa de modelar, pinturas etc.). Quanto mais enriquecida for a experiência do estudante frente a essas representações, maior a possibilidade do conceito se desenvolver no seu pensamento, disponibilizando ferramentas de abstrações que poderão proporcionar uma transformação psíquica no indivíduo e, possivelmente, proporcionar níveis de generalização cada vez mais avançados.

Os três princípios que foram apresentados aqui não devem ser trabalhados de forma isolada pelo professor e nem em cada aula, mas de modo articulado e interpostos na atividade de ensino. Aqui só foram abstratamente separados por uma questão de pesquisa para que a apresentação de cada um fosse enfatizada e melhor explicado. Além disso, a numeração que foi dada nos títulos das subseções como “princípio 1, princípio 2 e princípio 3” não deve ser encarada como uma hierarquia ou ordem linear entre eles. Eles não, necessariamente, precisam ser trabalhados em sequência cronológica, mas de forma articulada, seja na mesma aula ou em aulas separadas de acordo com o julgamento do professor. Os princípios devem ser encarados como instrumento de pensamento para organizar o trabalho educativo. O que quisemos deixar de contribuição para os professores foi mais para que eles pensem na organização da sua prática de ensino, e não em uma receita do que fazer em cada aula.

É importante reforçar, também, que esses princípios precisam ser articulados com os princípios da didática geral, pois fazem parte de uma grande estrutura da prática pedagógica do professor de química na perspectiva da pedagogia histórico-crítica.

Considerações finais

Considerando o que foi apresentado, pensamos que o ensino da química orgânica possibilitaria o desenvolvimento psíquico do indivíduo e o entendimento da realidade que o

cerca, se fosse tratado a partir de abordagens que privilegiasse os conceitos químicos com suas relações, seus nexos, suas estruturas e suas determinações. Essa prática de ensino, possivelmente, possui um maior potencial para que os alunos compreendam os fenômenos e, dessa forma, priorizá-la é um caminho a ser considerado.

Desse modo, o foco que orienta o ensino do professor no conteúdo de representações estruturais de compostos orgânicos não fica restrito à sua forma, mas à essencialidade do conteúdo que o irá guiar para a melhor forma, a partir da sua compreensão do processo lógico-histórico. Assim, as representações orgânicas são tratadas para além do ensino pautado unicamente em memorizações, classificações e na mecanização de dar nomes aos compostos. Essas regras passam a ser tratadas como conhecimentos auxiliares e posteriores ao processo de ensino das representações como unidade de análise entre os fenômenos do nível macroscópico e os entes submicroscópicos.

A nossa defesa é a de que essas formulações se configurem como a base primeira para orientar a prática de ensino quando os professores forem ensinar o conteúdo de representações estruturais. Sem esquecer, é claro, da macroestrutura que condiciona e é condicionada pela educação escolar. Assim como os sujeitos que compõem o espaço escolar (professores, alunos, gestores, auxiliares e entre outros) são sujeitos concretos, situados histórica e geograficamente, possuindo classe, raça e gênero.

É importante lembrar que esses princípios não são rígidos e estáticos, ou seja, a prática pedagógica pode apontar para outros princípios, para a invalidade desses ou para a sua reformulação. Nesse sentido, apontamos que este trabalho não se esgota por si mesmo, pois, por se tratar de um trabalho teórico, apesar de ter a sua relevância, possui limitações de estudos empíricos que possam sustentar, modificar ou refutar as formulações. Desse modo, as elaborações de princípios didáticos que aqui foram apresentadas se tornarão cada vez mais concretas quando as determinações da singularidade do processo de ensino também contribuírem nessa relação singular-particular-universal.

Vale enfatizar que os princípios didáticos para um conteúdo específico devem levar em consideração os princípios da didática geral da Pedagogia Histórico-Crítica elaborados por Galvão *et al.* (2019). Os princípios para o ensino do conteúdo devem estar ancorado no guarda-chuva que unifica o trabalho pedagógico de todos os professores, mantendo sua coerência e contribuindo para a concreticidade do ensino neste referencial.

Outro destaque, é que esse trabalho vem se somar com outros trabalhos da área do ensino de química, referenciados da Pedagogia Histórico-Crítica, que propõem princípios para o ensino levando em consideração outros aspectos da atividade pedagógica. Assim, este trabalho deve ser articulado a esses outros, os quais podemos citar como exemplos: o trabalho de Magalhães (2023) que propõe fundamentos anticoloniais para o ensino de história e cultura afro-brasileira nas aulas de química; o trabalho de Lima (2021) que propõe princípios para a ludicidade na formação de professores; o trabalho de Oliveira (2021) que propõe princípios para uma avaliação de química.

O presente artigo apresentou caminhos para que o professor de química possa pensar a elaboração da sua prática pedagógica quando for ensinar o conteúdo das representações

estruturais de compostos orgânicos, na tentativa de minimizar as lacunas que foram observadas na área.

Referências

- Aguillon, A. (2015). *Confómeros da molécula de butano em projeção de Newman e cavalete*. Wikipédia. http://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Conf%C3%B3meros_da_molecula_de_butano.png
- Almeida, E. G., Alves, R. C. S., Miranda Junior, P., & Marques, A. C. T. L. (2017). ‘Química Orgânica em jogo’: uma proposta de intervenção lúdica no ensino da química. Anais do 11º Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (pp. 1–10). UFSC. <http://www.abrapec.com/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R1712-1.pdf>
- Almeida, M. J. P. M. (2014). Apresentação. In T. Galieta & P. M. Giraldi (Orgs.), *Linguagens e discursos na educação em ciências*. Multifoco.
- Andrade Neto, A. S., Raupp, D., & Moreira, M. A. (2009). *A evolução histórica da linguagem representacional química: uma interpretação baseada na teoria dos campos conceituais*. Anais do 7º Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (pp. 1–12). UFSC. <http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/viienpec/VII%20ENPEC%20-%202009/www.foco.fae.ufmg.br/cd/pdfs/528.pdf>
- Antunes, M. T. (Ed.). (2013). *Ser protagonista: Química* (Vol. 3, 2a ed.,). Edições SM.
- Araujo Neto, W. N. (2007). A noção clássica de valência e o limiar da representação estrutural. *Química Nova na Escola*, 7(1), 13–24. <http://qnesc.sbn.org.br/online/cadernos/07/a04.pdf>
- Beltran, M. H. R. (2013). *O tetraedro de Van't Hoff: algumas considerações sobre o papel dos modelos na história da química e no ensino*. Anais do 9º Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (pp. 1–8). Abrapec. <http://hcensino.net.br/wp-content/uploads/2022/03/AR00002-O-tetraedro-de-van-t-hoff-algunas-consideracoes-sobre-o-papel-dos-modelos-da-historia-da-quimica-e-no-ensino.pdf>
- Butano. (2019). *Toda Matéria: Conteúdos escolares*. <http://www.todamateria.com.br/butano/>
- Camel, T. O. (2010). *A relevância das teorias da química orgânica na aceitação do conceito de molécula e de uma realidade atômica*. [Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro].
- Cedran, D. P., Cedran, J. C., & Kiouranis, N. M. M. (2018). A importância da simbologia no ensino de Química e suas correlações com os aspectos macroscópicos e moleculares. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 9(4), 38–57. <https://dx.doi.org/10.26843/v9i4.1342>
- Cedran, J. C., & Santin Filho, O. (2019). A estrutura dos compostos orgânicos em livros didáticos de nível superior: Análise sob a perspectiva de Bachelard. *Revista Exitus*, 9(4), 376–405. <https://dx.doi.org/10.2406/2237-9460.2019v9n4id1019>
- Cedro, W. L., & Moura, M. O. (2007). Uma perspectiva histórico-cultural para o ensino de álgebra: O clube de matemática como espaço de aprendizagem. *Zetetiké*, 15(27), 37–55. <https://dx.doi.org/10.20396/zet.v15i27.8647015>
- Chassot, A. (2017). *Alfabetização científica: Questões e desafios para a educação* (7a. ed.). Unijuí.
- Davidov, V. V. (1988a). *La enseñanza escolar y el desarrollo psíquico*. Editorial Progreso.
- Davidov, V. V. (1988b). *Problemas do ensino desenvolvimental: A experiência da pesquisa teórica e experimental na psicologia* (J. C. Libâneo & R. A. M. da Madeira Freitas, Trads.). Editorial Progreso.
- Flôr, C. C., & Cassiani, S. (2012). Estudos envolvendo linguagem e educação química no período de 2000 a 2008 – algumas considerações. *Revista Ensaio: Ensino e Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 14(1), 181–193. <https://dx.doi.org/10.1590/1983-21172012140112>
- Fonseca, M. R. M. (2016). *Química: Ensino médio* (Vol. 3, 2a. ed.). Ática.
- Galvão, A. C., Lavoura, T. N., & Martins, L. M. (2019). *Fundamentos da didática histórico-crítica*. Autores Associados.

- Geison, G. L., & Secord, J. A. (1988). Pasteur and the process of discovery: The case of optical isomerism. *Isis*, 79(1), 6–36. <https://dx.doi.org/10.1086/354632>
- Gouveia, M. M. (2020). Gênese e estrutura de *Imperialismo, fase superior do capitalismo*, de Lênin. *Germinar: Marxismo e Educação em Debate*, 12(2), 21–34. <https://dx.doi.org/10.9771/gmed.v12i2.42024>
- Haraguchi, S. K., & Silva, A. A. (2021). Poliedros orgânicos: Um jogo didático para o ensino de nomenclatura dos compostos orgânicos. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 12(1), 1–26. <https://dx.doi.org/10.26843/renclima.v12n1a04>
- Lavarda, T. C. F. S., & Pereira, P. B. (2019). Um levantamento histórico das pesquisas sobre linguagem no ensino de ciências no Brasil. *ACTIO: Docência em Ciências*, 4(1), 46–62. <https://dx.doi.org/10.3895/actio.v4n1.7707>
- Leontiev, A. N. (1978). *O desenvolvimento do psiquismo*. Livros Horizonte.
- Lima, L. R. F. F. (2021). *A ludicidade na formação de professores de química: princípios para uma perspectiva crítica* [Tese de doutorado, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana]. <http://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/33530/1/TESE%20LUIZA%20VERS%c3%83O%20FINAL%20Reposit%c3%b3rio%20UFBA.pdf>
- Magalhães, P. (2023). *Bases anticoloniais para o ensino histórico-crítico de química: primeiras incinerações* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Bahia]. http://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/36861/4/Pedro%20Magalh%c3%a3es_Disserta%c3%a7%c3%a3o%20de%20Mestrado.pdf
- Marcondes, M. E. R. (2015). *Química orgânica: Reflexões e propostas para o seu ensino*. GEPEC - IQUSP.
- Martins, L. M. (2020). *Pedagogia histórico-crítica e ensino de conteúdos* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=FqHaw1QhsDc&t=4328s>
- Messeder, H. N. (2019). *Apropriação dos conceitos de função: uma análise histórico-cultural* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana]. <http://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/30799/5/Disserta%c3%a7%c3%a3o-%20Helen%20Nogueira%20Messeder.pdf>
- Messeder Neto, H. S. (2015). *Contribuições da psicologia histórico-cultural para ludicidade e experimentação no ensino de química: além do espetáculo, além da aparência* [Tese de doutorado, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana]. http://ppgefhc.ufba.br/sites/ppgefhc.ufba.br/files/teseheliomesseder_cadastrada_no_sucupira.pdf
- Messeder Neto, H. S. (2022). O ensino da química na pedagogia histórico-crítica: Considerações sobre conteúdo e forma para pensarmos o trabalho pedagógico concreto. *Investigações em Ensino de Ciências*, 27(2), 271–293. <https://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n2p271>
- Mortimer, E. F., & Machado, A. H. (2013). *Química* (Vol. 3). Scipione.
- Netto, J. P. (2011). Entrevista: José Paulo Netto. *Trabalho, Educação e Saúde*, 9(2), 333–340. <https://www.scielo.br/j/tes/a/V6gVSJn7fR8qtTTXTPN7syw/?format=pdf&lang=pt>
- Nogueira, H. S. A., & Porto, P. A. (2019). Entre tipos e radicais: A construção do conceito de valência. *Química Nova*, 42(1), 117–127. <https://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170311>
- Oliveira, R. W. L. (2021). “Professora, vale ponto?”: Princípios para a elaboração de uma avaliação de aprendizagem de química na ótica da pedagogia histórico-crítica [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal da Bahia].
- Oliveira, G., Silva, H. R. G., Rodrigues A. P., Silva, J. S., & Silva S. K. (2012). *O uso da cotidianização como ferramenta para o ensino de química orgânica no ensino médio*. Anais do 1º Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba (pp. 1–8). Realize. http://www.editorarealize.com.br/editora/anais/enect/2012/17362bb2b25f73d3c94a0853375157f9_598.pdf

- Pasqualini, J. C. (2010). *Princípios para a organização do ensino na educação infantil na perspectiva histórico-cultural: um estudo a partir da análise da prática do professor* [Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”].
<http://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/5c04582b-b3a7-4bdd-8oc1-ce3804366564/content>
- Pasqualini, J. C. (2015). Objetivos do ensino na educação infantil à luz da perspectiva histórico-crítica e histórico-cultural. *Germinal: Marxismo e Educação em Debate*, 7(1), 200–209. <https://dx.doi.org/10.9771/gmed.v7i1.12776>
- Ramberg, P. J., & Somsen, G. J. (2001). The young J. H. van 't Hoff: The background to the publication of his 1874 pamphlet on the tetrahedral carbon atom, together with a new English translation. *Annals of Science*, 58(1), 51–74. <https://dx.doi.org/10.1080/000337901457696>
- Roque, N. F., & Silva, J. L. P. B. (2008). A linguagem química e o ensino da química orgânica. *Química Nova*, 31(4), 921–923. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422008000400034>
- Santos, W. L. P. S., & Mól, G. S. (Coords.). (2013). *Química cidadã*. AJS.
- Saviani, D. (1996). *Educação: Do senso comum à consciência filosófica* (11a ed.). Autores Associados.
- Saviani, D. (2011). *Pedagogia histórico-crítica: Primeiras aproximações* (11a ed.). Autores Associados.
- Silva, C. S. (2021). “Professor, o que são esses traços no quadro?”: *Princípios histórico-críticos para o ensino de representações estruturais de compostos orgânicos* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Bahia].
<http://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/33535/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20-%20Caio%20Silva-%202021.pdf>
- Silva, C. S., & Messeder Neto, H. S. (2021). O ensino de química como unidade dialética entre os níveis macroscópicos e submicroscópicos: Para além do triângulo do Johnstone. *Revista Exitus*, 11(1), e020201. <https://dx.doi.org/10.24065/2237-9460.2021v11n1ID1607>
- Silva Júnior, C. A. B., & Bizerra, A. M. C. (2015). Estruturas e nomenclaturas dos hidrocarbonetos: É possível aprender jogando? *Holos*, (6), 146–155. <https://dx.doi.org/10.15628/holos.2015.3616>
- Vigotski, L. S. (2009). *A construção do pensamento e da linguagem* (P. Bezerra, Trad., 2a ed.). Martins Fontes.
- Villela, G. (2011). *Isomeria óptica. Química sem Segredos*. <http://quimicasemsegredos.com/isomeria-optica/>