



## Ensino de química, modelos e autonomia intelectual

Uarison Rodrigues Barreto

Doutorando em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, Bahia, Brasil.  
[uarisonbarreto@gmail.com](mailto:uarisonbarreto@gmail.com)

Recebido em: 30/03/2019 Aceito em: 19/06/2019 Publicado em: 28/06/2019

### RESUMO

Muito se tem discutido sobre o objetivo do Ensino de Ciência, em particular, do Ensino de Química. Conhecimento como crença verdadeira, mudança de crença e entendimento dos objetos que a ciência propõe tais como a natureza epistemológica das teorias (logo, dos modelos), são alguns dos objetivos conforme sugerem diversos autores. Neste trabalho, estarei tratando da perspectiva do ensino de modelos. Nesse sentido, defenderei a tese que considera que o objetivo do ensino de modelos em Química, é à autonomia intelectual. E, nessa perspectiva, à ideia de desacordo epistêmico/dialético é fundamental para sua caracterização. Para tanto, apresentarei dois cenários em que a reflexão tem valor epistêmico. O primeiro refere-se ao debate entre realistas científicos e antirrealistas, e o segundo, o debate acerca da autonomia da Química frente à Física.

**Palavras-chave:** Autonomia intelectual. Ensino de química. Filosofia da química.

## Teaching chemistry, models and intellectual autonomy

### ABSTRACT

Much has been discussed about the purpose of Science Teaching, in particular, Teaching Chemistry. Knowledge as true belief, change of belief and understanding of the objects that science proposes such as, the epistemological nature of theories (thus, the models), are some of the objectives as suggested by several authors. In this paper, I will be dealing with the model teaching perspective. In this sense, I will defend the thesis that considers that the objective of model teaching in Chemistry is to the intellectual autonomy. And, in this perspective, the idea of epistemic / dialectical disagreement is fundamental for its characterization. To do so, I will present two scenarios in which reflection has epistemic value. The first one refers to the debate between scientific realists and antirealists, and the second, the debate about the autonomy of Chemistry versus Physics.

**Keywords:** Intellectual autonomy. Chemistry teaching. Philosophy of chemistry.

### INTRODUÇÃO

Muito tem se discutido sobre o objetivo do ensino de Ciências. Smith e Siegel (2004) sustentam que conhecimento e entendimento são os objetivos centrais do ensino de Ciências. Hoffmann (2007) admite a mudança de crença dos estudantes como objetivo da educação científica. Para Goldman (1999), o conhecimento como crença

verdadeira é o objetivo da educação. Outros autores, tais como Cobern (1996), El-Hani e Mortimer (2007) argumentam que o objetivo da educação científica é o entendimento dos estudantes sobre os objetos que a ciência propõe: modelos, teorias, leis, postulados, hipóteses, dentre outros. Dialogando com Cobern, El-Hani e Mortimer, neste trabalho, irei tratar da perspectiva do ensino de modelos.

Mas, afinal, qual é o objetivo do ensino de modelos em Química? Nesse trabalho, defenderei a tese que considera que o objetivo do ensino de modelos em Química, é a autonomia intelectual. E, nessa perspectiva, à ideia de desacordo epistêmico/dialético é fundamental para sua caracterização. Aqui, apresentarei dois debates: o primeiro, circunscrito entre realistas científicos e antirrealistas, sobretudo, no que diz respeito a discussão acerca da natureza dos modelos científicos, mais especificamente, a relação modelo e realidade. Parece claro, que há desacordos intelectuais que tangenciam o problema do desacordo (ou seja, entre seres racionais), uma vez que a noção de modelo vai depender da corrente filosófica a qual ele está inserido. O segundo, refere-se a autonomia da Química frente à Física.

Nesse sentido, proponho verificar em que sentido a Química não pode prescindir da Mecânica quântica para explicar seus fenômenos? Ou melhor, em que medida a Química explica seus próprios fenômenos sem a necessidade inevitável da Mecânica Quântica? Nesse caso, o desacordo estaria em outra dimensão, não mais entre a diferença entre modelo e teoria, mas buscando verificar que há entes entre os modelos de ligação química há aqueles que se apoiam na mecânica quântica e outros que seriam da própria Química.

Assim, esta proposta de trabalho, se justifica pelas razões: pela inexistência de trabalhos teóricos que abordem de forma específica e profunda a perspectiva dos modelos científicos em desacordos dialéticos; mostrar que a reflexão em cenários de desacordos tem valor epistêmico; por ser caracterizado como um trabalho original, pode contribuir significativamente para a formação de professores de química.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo apresentar dois cenários em que a reflexão tem valor epistêmico. Assim, admito como hipótese que a performance reflexiva em cenários de desacordos epistêmicos/dialéticos pode promover no aluno uma virtude epistêmica ou habilidade intelectual de julgar as próprias crenças ou razões dos seus interlocutores.

## **METODOLOGIA**

Este trabalho é de caráter eminentemente teórico-reflexivo. A escolha pela pesquisa reflexivo-teórica aqui, justifica-se por sustentar uma perspectiva segundo a qual considera que, para que um indivíduo conheça à luz de um desafio, é necessário que ele tenha autonomia intelectual.

Para tanto, me amparo na argumentação de conceitos e pelo intuito de apresentar uma discussão teórica e crítica, orientando-se, fundamentalmente, pela literatura especializada da filosofia contemporânea. Nesse sentido, busco compreender uma relação que considero, inicialmente frutífera, entre a Epistemologia Social e o ensino de Ciências, em especial, ensino de Química.

Nesse sentido, buscou-se organizar, sistematizar e extrair sentido dos dados de textos em três etapas. Para análise dos dados foi aplicada a técnica da análise temática (BARDIN, 1977). A primeira consistiu na organização dos documentos a serem analisados, tendo como ponto de partida os documentos relacionados aos debates entre realista científico e antirrealista, e a autonomia da Química frente à Física, ambos discutidos no âmbito da Filosofia da Ciência e, especialmente, na Filosofia da Química. A segunda etapa, a exploração do material, consistiu essencialmente na operação da codificação. Buscou-se realizar recortes dos textos selecionados para classificar os referidos recortes nas categorias temáticas. Optou-se por definir as categorias de análise com base nos artigos, textos e livros selecionados vinculados diretamente aos modos de explicação Química. Dessa forma, com base nas etapas de pré-análise e de exploração material, foram definidas as seguintes categorias temáticas: desacordos dialéticos, a importância da visualização via modelos e a relação modelo e teoria.

Por fim, a terceira etapa, refere-se ao tratamento e interpretação dos dados obtidos. Para Bardin (1977, p. 101), na análise dos dados, “[...] o analista, tendo à sua disposição resultados significativos e fiéis, pode então propor inferências e adiantar interpretações a propósito dos objetivos previstos, ou que digam respeito a outras descobertas inesperadas.” Para Minayo et al. (1994), a etapa de análise de dados na pesquisa de natureza social tem três objetivos: estabelecer uma compreensão dos dados coletados a partir da leitura da literatura especializada, confirmar ou não os pressupostos da pesquisa e/ou responder às questões formuladas, e ampliar o conhecimento sobre o conteúdo, articulando-o ao contexto cultural do qual faz parte.

## **DESACORDOS DIALÉTICOS**

Cenários de discordâncias dialéticas envolvem agentes que são pares epistêmicos e que por um lado, têm opiniões divergentes sobre o mesmo conteúdo (aqui, entre estes, os modelos científicos e sua relação com a realidade) e por outro lado, quando contestados, apresentam argumentos para justificar suas posições. Em um desacordo dialético, a justificação é uma questão de defesa (SILVA FILHO; SANTOS, 2016).

Considerando que agentes estejam a luz de confronto cético-dialético, onde os sujeitos tenham opiniões divergentes e acesso as mesmas evidências (fatos, informações e fenômenos), de maneira que, compartilham aproximadamente das mesmas habilidades intelectuais (reflexão, capacidade de raciocínio e virtudes intelectuais, por exemplo), um agente decide acreditar, não acreditar, entre outros.

Sobre as considerações de Feldman, Goldman faz algumas reflexões importantes, ampliando suas concepções. Feldman (2007), por exemplo, problematiza o debate, questionando: pode agentes epistêmicos terem divergências razoáveis, uma vez que, os mesmos partilham das mesmas evidências? Segundo Feldman, dizer que duas pessoas têm um desacordo razoável é dizer que cada um é justificado em manter sua crença (ou descrença). Ou seja, o desacordo em Feldman consiste em: crença (por exemplo, S acredita em F), descrença (S não acredita, descrer, em F) ou suspensão do juízo.

## **O DEBATE ENTRE REALISTAS CIENTÍFICOS X ANTIRREALISTAS**

Os problemas acerca da representação aparecem tratados extensivamente ao longo da história da epistemologia (VAN FRAASSEN, 1980; SUPPE, 2000). Para Adúriz-Bravo (2001), um dos problemas mais antigos abordados pela epistemologia é o que remete à natureza do alcance da relação que existe entre o conhecimento científico e a realidade por ela representada. Nesse sentido, analisa a forma como modelos e teorias se conectam à realidade e como são julgadas pelos cientistas. Embasado em vários autores (HACKING, 1983; BUNGE, 1985; GIERE, 1992b; ROSENBERG, 2000), Adúriz-Bravo tem chamado atenção para a relação de correspondência entre realidade e representação, teoria e empiria e entre conhecimento e evidência.

De acordo com o autor, respostas clássicas à questão da correspondência entre

teoria e empiria podem ser discutidas em duas grandes posições: por um lado, os realistas, por outro os antirrealistas, opostos a eles, destacando-se os instrumentalistas. A visão realista estabelece uma relação de correspondência mais ou menos biunívoca entre termos científicos e entidades do mundo natural. O problema do realismo, para dar conta da prática científica, requer uma análise rigorosa da relação entre teoria e fatos (ADÚRIZ-BRAVO, 2001).

Ribeiro (2014), concordando com Adúriz-Bravo (2001), ressalta que uma atitude realista crítica se associa à eficácia instrumental do instrumentalismo, à adequação empírica construtivista e concebe que as teorias científicas captam, parcialmente, a estrutura da realidade. Para Ribeiro (2014), o realismo crítico entende que as entidades são construções intelectuais e que tomam sentido no âmbito sociocultural em que surgem. Nesse sentido, comenta: “[...] o realismo crítico também é pragmático no sentido de que entende que os modelos são explicações parciais, selecionadas com base em objetivos específicos de cada problema científico” (RIBEIRO, 2014, p. 143).

Del Re (1998, 2000) argumenta que se aumentou a confiança acerca do que é observado a partir do desenvolvimento dos instrumentos de medição, ainda que tais observações sejam baseadas em inferências e analogias. Para ele, a maioria dos experimentos fornecem resultados que concordam com a suposição de que as moléculas, por exemplo, têm estruturas correspondentes a esses modelos.

Também nessa mesma perspectiva, dialogando com Del Re e Laszlo (1998, 2000, 2012) defende que os instrumentos aumentaram a sensibilidade de medição, porém houve distanciamentos do real, sobretudo, no que diz respeito às percepções imediatas (cor, cheiro etc.) por entes microscópicos idealizados. Para o autor, a única realidade é o registro do espectro que envolve uma linguagem vinculada ao significado. Para Laszlo (1998, p. 5):

Na análise espectral não estamos lidando com um acoplamento arbitrário entre o signo e o que está sendo representado. Ao contrário, existe uma base intrínseca para tal associação, ambos empíricos e necessários: um pico dado, a uma certa frequência e de uma certa forma, no espectro de RMN de etanol, significa metila, não porque eu quero que seja assim, mas porque é realmente assim. O único aspecto arbitrário, aqui, é denominação do termo "metila" para este grupo de átomos, CH<sub>3</sub>. (LASZLO, 1998, p. 5).

Nesse contexto, os modelos moleculares têm semelhanças com o real

postulado, misturando convenções com fatos e, nesse sentido, tem um papel operacional. De acordo com Laszlo, o laboratório de Química é o local onde se produzem substâncias e novos conceitos. Por outro lado, Hoffmann (2007) acrescenta que a manipulação das transformações químicas ajuda a reforçar esse realismo do químico. Para esse autor, é difícil não acreditar que a estrutura de uma substância é a mesma de uma determinada forma se, a partir dela, for possível prever a formação de outra substância, realizar uma nova síntese e ter evidências experimentais de que a estrutura prevista foi alcançada.

Vihalemm (2011) argumenta que o realismo dos químicos não é o ingênuo, mas o prático. A prática científica acessa, por meio dos experimentos, o mundo real, sendo orientado por uma teoria científica, segundo normatizações. Nesse sentido, o que é “dado” com base na prática química, é um aspecto do real. Para Chalmers (1984), a versão positivista lógica do realismo, frequentemente qualificada como ingênua, sustenta uma relação estrita entre representação e representante, ou seja, supõe que os termos teóricos da Ciência se referem a objetos do mundo. Essa visão teórica é problemática, conforme apontam vários autores, entre eles, Giere (1992b).

Ao contrário do realista, o antirrealista não se compromete com os referentes da teoria científica, de maneira que, não julga como necessário comprometimento com entidades sob o ponto de vista ontológico. Para Van Fraassen (2007) a qualidade de uma teoria está na sua adequação empírica. Nesse sentido, sustenta:

A definição exata de adequação empírica não se reduz a noção de verdade, por que ela relaciona a teoria com os fenômenos reais (e não com qualquer coisa que aconteceria se o mundo fosse diferente, asserções que, a meu ver, não possuem qualquer base factual, mas apenas refletem as teorias de fundo com as quais trabalhamos) (FRAASSEN, 2007, p. 121).

A posição instrumentalista supõe que as entidades teóricas são ferramentas de organização do mundo dos fenômenos que não necessariamente tem uma contrapartida na realidade ontológica (IZIQUIERDO, 1999b; ADÚRIZ-BRAVO; MEINARDI, 2000).

A solução atual para o problema da correspondência está adequadamente alinhada à recuperação do realismo para a qual tem sido proposta diversas variantes relativamente refinadas (BUNGE, 1985; PICKERING, 1989; GIÈRE, 1992b; ROSENBERG, 2000). Essas variantes assumem algumas ferramentas conceituais do

construcionismo, operacionalismo e do instrumentalismo, rivais tradicionais do modelo realista de correspondência (LOSEE, 1997). Assim:

Instrumentalismo e construtivismo, tem como característica comum a tese de que as teorias científicas são entidades criadas livremente pelos cientistas com grande independência da realidade a que se referem. Estas entidades são julgadas, no caso do instrumentalismo, por sua eficácia, ou resolução de problemas, como a predição e gestão de fenômenos. No caso do construtivismo, o juízo sobre as entidades teóricas tem como critério central que são capazes de dar conta de dados empíricos, e de organizar as experiências individuais (ADÚRIZ-BRAVO, 2001, p. 157-58).

Uma posição realista faz uma crítica adicional a essas características da eficácia experimental e da adequação empírica à ideia de que as teorias científicas capturam parte da estrutura profunda da realidade. Em outras palavras, “[...] as teorias são instrumentos para calcular e prever, porém os cientistas têm a esperança de que também são descrições ou explicações da realidade” (HODSON, 1988, p.13).

## **A IMPORTÂNCIA DA VISUALIZAÇÃO VIA MODELOS**

A Química é por natureza uma Ciência visual. A “[...] importância decrescente dos signos linguísticos, tais como nomes, em comparação com os signos icônicos como fórmulas estruturais, reforça o caráter intensamente visual da química” (SPECTOR, 2003, p. 219). Para Ribeiro (2014), a visualização é resultado de uma combinação analítica de estratégias visuais e não visuais, envolvendo imaginação espacial. Nesse sentido, algumas questões surgem: Qual é o papel das representações visuais na Química, em particular, na ligação química? Tais representações correspondem a algo na realidade?

De acordo com Goodwing (2009b), as representações visuais são capazes de desempenhar um papel "genuíno" nas explicações e argumentos da ciência, sem suportar o valor de verdade. Para ele, o argumento filosófico abstrato que motiva a abordagem das representações visuais, como portadores da verdade, é um equívoco.

Hoffmann (2003) acrescenta que esse impulso para a visualização é proveniente do sucesso da maneira arquitetônica de pensar sobre a estrutura e construção em Química. Esse autor considera que a essência da comunicação arquitetônica consiste em moléculas com desenhos icônicos (ao invés de fotografias ou gravuras) e com modelos de esfera e de vara, que assumem seu valor. Para exemplificar, usa as ideias de Watson e Crick para demonstrar que esses autores não sintetizaram o

DNA, porém fundamentaram a sua estrutura. De acordo com Hoffmann (2003, p. 2):

A visualização através de modelos entra na química, como um corolário inevitável do macro / micro movimento que confusamente e produtivamente mistura na mente dos químicos modernos. Camadas de representação icônica e simbólica de moléculas mediam a nossa luta para nos impulsionar em entender por que fora dessa solução azul vem um precipitado verde limão. Nós entendemos, não apenas por cogitação, mas através de desenhos de modelos moleculares e orbitais. (HOFFMANN, 2003, p. 2):

Embasado em Hoffmann, acredito que a analogia entre os modelos e as estruturas moleculares, por exemplo, pode facilitar o estudo da constituição, da configuração (ou seja, da estrutura tridimensional) e das diferentes conformações, as formas que uma molécula pode obter. Além disso, o uso de modelos moleculares é simples e de grande importância, pois apoia a visualização das ligações químicas. Há diversos casos em que a representação da estrutura tridimensional da molécula é fundamental.

Sobre a visualização de entidades químicas, Del Re (2000) considera que uma molécula não pode ser visualizada por ampliação simples por que é menor do que o comprimento de onda da luz visível; de maneira que o que denominamos de uma “imagem” obtida, por exemplo, por microscopia túnel, consiste em uma construção teórica baseada na similaridade formal entre ondas de matéria e ondas de luz. Para o autor, o homem não tem a percepção direta da grande maioria dos objetos que a ciência detecta no universo físico, de modo que seu conhecimento é baseado em analogias com objetos *ad hoc*, possivelmente artificiais, como, por exemplo, o modelo molecular de bolas e palitos (ou sua variante de bolas e molas).

De outro ponto de vista, Pessoa-Jr. (2007, p. 27), ao comentar sobre representações pictóricas em Química, alega que não está claro no que consiste o “aspecto visual” de átomos e moléculas, já que essas entidades são diminutas. Nesse sentido, problematiza a teoria quântica, questionando: O que a teoria quântica teria a dizer sobre isso? O que é um átomo na realidade, por trás dos traços luminosos e marcações de ponteiro que obtemos no laboratório? Para além das previsões feitas pela Física Quântica, o que ela nos diz sobre a melhor maneira de representar átomos e moléculas? Segundo esse autor, o significado das representações pictóricas vai depender de nossa postura interpretativa. Para ele, uma interpretação seria um conjunto de teses ou imagens que o físico agrega ao formalismo mínimo de uma teoria, sem afetar as

previsões observacionais ou resultados da teoria (ou afetando de maneira não detectável).

Por outro lado, Hanson (1958), “vê” que uma imagem seria um empreendimento carregado de teoria e, nesse sentido, haveria sempre um componente linguístico ou proposicional em nossa visão. Assim, para esse autor, sem um componente linguístico, por exemplo, nada que tenhamos observado teria importância para a constituição do conhecimento.

## **RELAÇÃO MODELO E TEORIA**

Para entender a relação estreita dos modelos com as teorias, Adúriz-Bravo (2012) sugere a necessidade de recorrer a algumas caracterizações da ideia de modelo científico propostas pela epistemologia do século XX. Nesse sentido, o autor considera três grandes concepções:

1. Para o positivismo lógico e a concepção herdada (1920-1960), um modelo científico é um exemplo qualquer de uma teoria; a teoria se considera a entidade central para as análises epistemológicas.

2. Para a nova filosofia da ciência (1950-1980), o modelo se converteu em um exemplo paradigmático (isto é digno de imitação) de uma teoria.

3. Por último, para a concepção semântica das teorias científicas (1970 até hoje), o modelo está identificado com um exemplo intencionado da teoria (isto é, um exemplo que a teoria está interessada em explicar) (ADÚRIZ-BRAVO, 2011).

De acordo com o autor, a mais influente corrente filosófica, a concepção sintática ou (herdada) das teorias científicas, dos anos de 1950 e 1960, estudou de forma profunda os aspectos lógicos e linguísticos do conhecimento científico. Para os epistemólogos dessa escola, as teorias empíricas eram baseadas em cálculos axiomáticos “interpretados” (com base na lógica formal). Nesse contexto, um modelo era uma entidade de menor interesse, podendo ser reduzido a um sistema (estrutura) que satisfizesse a todos os axiomas das teorias científicas, convertendo-se em modelo dessa teoria depois desse processo de interpretação (DIEZ; MOULINES, 1999).

Com o surgimento da nova Filosofia da Ciência nos anos de 1960 e 1970, Thomas Kuhn, propôs centrar-se na ideia de modelo, uma vez que ele acreditava ser, central para o entendimento do funcionamento da empresa científica. Na concepção

semântica, dos anos de 1970 e 1980, os modelos são o centro de parte explicativa de uma teoria, constituindo-se em um conjunto ou classes de modelos que podem ser caracterizados pelas leis científicas (os axiomas) da teoria científica, conforme apontam Diez e Moulines (1999). Nesse sentido, “[...] os modelos de uma teoria são “projeções” da teoria sobre o mundo, “suas possíveis realizações”; podem ser entendidos como correlatos formais de pedaços de realidade que ela pretende explicar” (ADÚRIZ-BRAVO, 2012, p. 7).

Delattre (1992) argumenta que, desde a sua origem, a noção de teoria aplicada à ciência possui duas direções distintas. A primeira refere-se à parte racional, discursiva, demonstrativa, da atividade cognitiva que provêm da lógica. A segunda diz respeito à parte intuitiva da atividade teórica, relacionada ao conhecimento dos princípios sobre os quais se podem fundar as demonstrações lógicas. Nesse sentido, há um forte debate acerca da seguinte questão: Em que medida, uma teoria científica é verdadeira? Essa questão tem duas vertentes. A primeira, uma vertente epistemológica que envolve o alcance e os limites do conhecimento científico, ou seja, em que medida temos razões, ou melhor, boas razões para acreditar na verdade das teorias científicas. Contudo, a questão epistemológica examina argumentos a favor da verdade, parcial e aproximativa das teorias e também da existência de entidades não observadas. A segunda vertente inclui a metafísica, já que questionamos sobre a natureza das realidades das quais postulam as teorias; por exemplo, não basta dizer que o elétron é real, mas temos de explicitar o que entendemos por real, ou seja, uma questão metafísica. Nesse sentido, admito que o termo real, tem pelo menos, dois sentidos. O primeiro se refere ao sentido metafísico profundo, que é o mundo das coisas “em si”, que é um mundo inalcançável. Outro sentido se refere àquilo que se mostra como realidade, ou seja, aquilo que “aparece” para um pesquisador, por exemplo, quando mede, observa, dentre outros.

Outro aspecto discutido na Filosofia a Ciência é apontado por French (2009), ao alegar que as teorias são muitas vezes bastante complexas e difíceis de operar, daí a necessidade do modelo para mediar a relação entre teoria e fenômeno. Assim, o teórico considera modelo como parte constitutiva da teoria. No quadro das atividades científicas, Morgan e Morrison (1999) compreendem teorias como sistematizações explicativas que, por meio de princípios gerais, governam amplos grupos de fenômenos.

Para Adúriz-Bravo (2001), os modelos das ciências atuais, enfatizam o caráter

mais representacional (simbólico, analógico e operativo) do conhecimento em ciências, deixando de lado seus aspectos formais, contudo, relativizados. A ideia central dessa visão teórica é admitir os mais variados mecanismos de representação do mundo (SUPPE, 1989; GIÉRE, 1992; ADÚRIZ-BRAVO, 2012). Assim, tanto as teorias como as representações se comunicam mediante diversas linguagens (gráficas, simbólicas, icônicas, computacional etc.), de maneira que os epistemológicos são capazes de relacionar a natureza da representação científica com outras formas de representações humanas (GIÉRE, 1992a; IZQUIERDO, 1999a). Ainda, nessa tônica, Van Fraassen (2007, p.178) diz “[...] que uma teoria explica um ou outro fato é afirmar que existe uma relação entre essa teoria e aquele fato, relação que é independente da questão se o mundo real, como um todo se ajusta àquela teoria.”

Amparado por Giere (1992, 1999, 2004) e Chamizo (2006), argumenta-se neste estudo que modelos são distintos da realidade. Nesse sentido, os modelos nunca são a realidade e nem devem ser. Nesse intuito, os modelos admitem uma natureza híbrida: não teoria, não real, de modo que tal autonomia permite que eles possam ser utilizados como mediadores entre ambos domínios.

Ainda, concordo com as posições teóricas de Batista (1999), Morgan e Morrison (1999) e Rosenberg (2005), acerca das diferenças entre modelos e teorias. Tais distinções para esses autores consistem no nível de abrangência: enquanto as teorias são mais abrangentes e, os modelos são entidades mais limitadas, que podem ser aplicadas nos princípios gerais das teorias. Quanto à relação modelo e realidade, compartilho a posição de Giere (1992 e 1999): esta relação é de similaridade, ou seja, o modelo não é real, porém tem valor de semelhança ao sistema real em alguns aspectos e graus.

Portanto, compreender a Química como uma ciência modelar (ou seja, baseada em modelos) remete a especificidade da linguagem química. Meu argumento sugere, por exemplo, que em uma ligação química, não podemos saber como as ligações covalentes são formadas em si mesmas, o que nós acreditamos saber sobre elas é realmente o que é conhecido por meio de modelos.

## **SOBRE O PROBLEMA DO REDUACIONISMO**

Sabe-se que até o começo do Século XX a química seguiu um desenvolvimento

histórico independente ao da física: os fenômenos químicos eram concebidos em sua própria especificidade e com suas próprias regularidades (NYLE, 1993). Entretanto, o grande êxito descritivo, preditivo e explicativo da mecânica quântica levou a suposição de que a Química poderia ser reduzida completamente a Física. Por exemplo, em 1921, o físico Paul Langmuir havia explicitado sua posição:

Penso que dentro de poucos anos seremos capazes de deduzir 90% de tudo aquilo que se encontra em qualquer texto de química a partir de princípios elementares, conhecendo fatos definidos em relação com a estrutura dos átomos (citado em SCERRI, 1994, p.162).

Porém, tal perspectiva fica marcada pelo dictum de Dirac com sua famosa frase: “As leis da física fundamentais para a teoria da matemática de uma grande parte da física e a totalidade da química são completamente conhecidas desde a mecânica quântica” (DIRAC, 1929, p.714). Para Dirac, assim como para Langmuir, a redução da química a física, era inevitável.

O problema do reducionismo é um dos temas mais discutidos dentro da Filosofia da Química contemporânea. Entretanto, a questão de saber se a redução da Química à Física é possível, oferece respostas que configuram posições diferentes e até mesmo contraditórias (PRIMAS 1983; SCERRI 2000, 2004; SCERRI; MCINTYRE 1997; VEMULAPALLI; BYERLY 1999; VAN BRAKEL 2000).

Sobre os conceitos de “redução”, se faz necessário distinguir redução ontológica de redução epistemológica. Para Labarca et al., (2013, p. 3):

Em sua versão tradicional, a redução ontológica implica que as supostas entidades dos níveis não fundamentais da realidade (química, biológica, etc.) não são mais que entidades ou agregados de entidades pertencentes ao nível considerado fundamental (físico). Portanto, o reducionismo ontológico é uma tese metafísica eliminativista, que admite a existência real e objetiva de um único nível de realidade, onde os restantes níveis só possuem uma existência meramente subjetiva ou aparente. A redução epistemológica se refere à dependência lógica entre as teorias científicas: uma teoria pode ser reduzida a outra quando pode ser deduzida daquela. Assim, o reducionismo epistemológico resulta ser uma tese epistemológica segundo a qual a ciência pode (ou deve) ser unificada, deduzindo-se todas as teorias científicas a partir de uma única teoria privilegiada. (LABARCA et al., 2013, p. 3).

De acordo com Lombardi e Ransanz (2010), a linha de argumentação mais utilizada pelos filósofos da química em relação ao problema da redução é a impossibilidade de redução epistemológica da Química à Física. Se bem que os argumentos diferem entre si, autores concordam em considerar que as descrições e os

conceitos químicos não podem ser derivados dos conceitos e das leis da física, conforme sugere o reducionismo epistemológico tradicional.

Sobre a rejeição da redução epistemológica da química à física, diversos filósofos da química sustentam que as leis da química não podem ser deduzidas com base nas leis da física, assim como conceitos centrais de química tais como a ligação química, quiralidade molecular e orbital. Por exemplo, Scerri e McIntyre (1997) apontam que as propriedades químicas quantitativas, ou seja, o cálculo de propriedades químicas a partir da mecânica quântica – fracassa, uma vez que requer técnicas de aproximação que somente podem ser justificadas com base em dados experimentais que, precisamente, se pretende calcular.

A redução conceitual também falha porque a própria natureza dos conceitos químicos torna isso impossível. Por sua vez, Vemulapalli e Byerly (1999), ressaltam que a redução epistemológica falha, mesmo nos casos mais simples, uma vez que as propriedades de um sistema químico não podem ser explicadas em termos das propriedades de microcomponentes físicas, por exemplo, equilíbrio nos sistemas de componentes múltiplos não ideais e sistemas não ideais em termodinâmica estatística. Ainda concluem que:

A redução epistemológica falha radicalmente quando se tenta derivar as explicações químicas específicas a partir da física fundamental [...] somente se tem êxito em derivar resultados químicos supondo dados químicos (VEMULAPALLI; BYERLY, 1999, p.37).

## **AUTONOMIA E ENSINO DE MODELOS EM QUÍMICA**

Em síntese, em meu entendimento, parece claro que há desacordos cético-dialéticos entre as posições realistas e antirrealistas, uma vez que há discordâncias dialéticas entre agentes que são pares epistêmicos, ambos têm opiniões distintas sobre o mesmo conteúdo. Por exemplo, enquanto que, para os realistas científicos modelos são descrições que se aproximam do real, para os antirrealistas, estes são apenas instrumentos do pensamento científico e se adequam empiricamente.

Em relação as entidades inobserváveis que os modelos/teorias postulam, para o realista científico, elas existem, já para os antirrealistas, tais entidades são ficções úteis, entre outros. Nesse sentido, amparado em Baehr (2014), Silva Filho e Santos (2016) e Ferreira (2015), argumento que um agente epistêmico frente a um desacordo cético-

dialético, pode investigar se suas próprias crenças, ou as de outro interlocutor, são justificadas, de modo que: J acredita que a, K acredita que não a, K desafia J a explicar porque J acredita que a e não a e J desafia K para explicar por que K acredita a e não a, mantendo a racionalidade de sua decisão. Mas, para isso, é preciso que ele tenha autonomia. E, nesse sentido, penso que a ideia de desacordo dialético é fundamental para sua caracterização.

No ensino de modelos químicos, acredito que o que está em jogo não é (e nem deve ser) apenas a opção por uma perspectiva realista ou antirrealista científico, ou por um caráter redutivo, o qual atenta contra a autonomia da química uma vez que a coloca numa posição subordinada à física. É preciso criar condições para que o estudante possa conhecer, entender e avaliar as razões que cada posição defende. Nesse sentido, apresentar razões para as crenças implica num valor epistêmico.

Dentro desse contexto, argumento que a reflexão tem valor epistêmico no campo epistemológico. Aqui, a reflexão é entendida como uma performance (ou, como uma função cognitiva), é uma atividade na qual o sujeito pode examinar a evidência, o conteúdo e a confiabilidade da própria crença conforme apontam Silva Filho e Santos (2016). Em agentes epistêmicos e cognitivos, a ideia de refletir consiste em procurar ou buscar razões num momento de desacordos.

Compartilho também da posição de Smith e Siegel (2004), os quais consideram que o pensamento crítico envolve a capacidade de reconhecer as razões e avaliá-las. Dessa forma, acredito que o desempenho reflexivo pode ofertar ao estudante (como agente epistêmico) uma virtude epistêmica – a autonomia intelectual - de modo que ele possa investigar, pensar, buscar razões e avaliar suas próprias crenças e/ou estabelecer preferências epistêmicas, alcançando assim, uma atitude intelectual mais ponderada e razoável.

## **CONCLUSÃO**

Portanto, penso que o agente deve ter a capacidade de entender e ter acesso as razões que justificam suas crenças. Nesse sentido, minha posição se aproxima de Silva Filho e Santos (2016) uma vez que a justificação aqui, não é garantia de verdade e conhecimento. Entretanto, acredito que o desempenho reflexivo pode colocar o

estudante no ensino de modelos em química numa condição que mereça créditos: evitar precipitação, dogmatismo e injustiça epistêmica.

Deste modo, a noção de autonomia aqui, suscita algo que dá motivação a agir e que passa pelo crivo do juízo. Por fim, amparado em Sosa (1991), uma virtude é aqui entendida como uma competência, habilidade, natural e aprendida.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), em especial, ao meu orientador e prof. Dr. Waldomiro José da Silva Filho, exemplo de simplicidade, conhecimento e humanidade, pelos ricos encontros teóricos e aprendizados. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio e auxílio financeiro para que pudesse me dedicar integralmente à pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ADÚRIZ-BRAVO, A. **Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias**. 2001. 193 f, Tesis (Doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales) - Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, 2001.

\_\_\_\_\_. Concepto de modelo científico: una mirada epistemológica de su evolución. En: GALAGOVSKY, L. (Coord.). **Didáctica de las ciencias naturales**: el caso de los modelos científicos. Buenos Aires: Lugar Editorial, 2011. p. 141-161.

\_\_\_\_\_. A 'Semantic' view of scientific models for science education. **Science & Education**, v. 22, n. 7, p. 1593-1611, 2012.

\_\_\_\_\_.; MEINARDI, E. Dos debates actuales en la investigación en la didáctica de las ciencias experimentales. **Didáctica de las Ciencias Experimentales e Sociales**, n. 14, p. 69-85, 2000.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

BAEHR, J. Educating for intellectual virtues: from theory to practice. In KOTZEE, B. **Education and the growth of knowledge**: perspectives from social and virtue epistemology. Oxford: Blackwell. 2014. p. 106-123.

BATISTA, I. L. **A teoria universal de Fermi**: da sua formulação inicial à reformulação V-A. 1999. 122 f. Tese (Doutorado em Filosofia da Ciência) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

BRAKEL, J. V. **Philosophy of chemistry**: between the manifest and the scientific image. Leuven: Leuven University Press. 2000.

BUNGE, M. Demarcating science from pseudoscience. **Fundamenta Scientiæ**, v. 3, n. 3/4, p. 369-388, 1982.

- \_\_\_\_\_. **Seudociencia e ideologia**. Madrid: Alianza, 1985.
- CHAMIZO, J. A. Los modelos de la química. **Educación Química**, v.17, p. 476-482, 2006.
- CHALMERS, A. **Que es esa cosa llamada ciência?** 2. ed. Madrid: Siglo XXI, 1984.
- COBERN, W. W. Worldview theory and conceptual change in science education. **Science Education**, v. 80, p. 579-610, 1996.
- DELATTRE, P. **Método-teoria/modelo**. In: ENCICLOPÉDIA Einaudi. Lisboa: Imprensa Nacional Casa da Moeda, 1992. Vol. 21, p. 223-287.
- DEL RE, G. Ontological status of molecular structure. **Hyle - An International Journal for the Philosophy of Chemistry**, v. 4, n. 2, p. 81-103, 1998.
- \_\_\_\_\_. Models and analogies in science. **HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry** v. 6, p. 5-15, 2000.
- DIRAC, P. A. M. Quantum mechanics of many - electron systems. **Proceedings of the Royal Society, A** v. 123, n. 702, p. 714 - 733, 1929.
- DÍEZ, J. A.; MOULINES, U. **Fundamentos de filosofía de la ciencia**. 2. ed. Barcelona: Ariel, 1999.
- EL-HANI, C.; MORTIMER, E. Multicultural education, pragmatism, and the goals of science teaching. **Cultural Studies of Science Education**, v. 2, p. 657-702. 2007.
- FELDMAN, R. Reasonable religious disagreements. In: Antony, L. M. (Ed.). **Philosophers without gods: meditations on atheism and the secular life**. New York: Oxford University Press, 2007. p. 194-214.
- FERREIRA, T. A. S. **Entendimento, conhecimento e autonomia: virtudes intelectuais e o objetivo do ensino de ciências**. Tiago Alfredo da Silva Ferreira (Org.). Salvador: UFBA, 2015.
- FERREIRA, T. A. S.; EL-HANI, C. N.; SILVA FILHO, W. J. Conhecimento, crenças e educação científica. **Science Education**, 2016.
- FRENCH, S. **Ciência: conceitos-chave em Filosofia**. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- GIERE, R. N. **La explicación de la ciência**. um acerto cognoscitivo. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. 1992b.
- \_\_\_\_\_. **Cognitive models of science**. Minneapolis: University of Minnesota, 1992a.
- \_\_\_\_\_. **La explicación de la ciencia: un acercamiento cognoscitivo**. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1992b. Edición original en inglés de 1988.
- \_\_\_\_\_. Using models to represent reality. En: MAGNANI, L.; NERSESSIAN, N. J.; THAGARD, P. (Ed.). **Model-based reasoning in scientific discovery**. New York: Kluwer Academic Publishers/Plenum, 1999. p. 41-57.
- \_\_\_\_\_. Del realismo constructivo al realismo perspectivo. **Enseñanza de las Ciencias**, número extra, p. 9 -13, 1999a.
- \_\_\_\_\_. Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. **Enseñanza de las Ciencias**, número extra, p. 63-70, 1999b.
- \_\_\_\_\_. Como os modelos são usados para representar a realidade. **Philosophy of Science**, v. 71, p. 242-52, 2004.
- GOLDMAN, A. I. **Knowledge in a social world**. Oxford: Oxford University Press. 1999.

- GOODWIN, W. M. Visual representations in science. **Philosophy of Science**, v. 76, n. 3, p. 372-390, 2009b.
- HACKING, I. **Representar e intervir**: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural. Rio de Janeiro: Eduerj, 2012.
- HACKING, I. **Representing and intervening**. Cambridge, UK: Cambridge University, 1983.
- HANSON, N. R. **Patterns of discovery**: an inquiry into the conceptual foundations of science. Cambridge: Cambridge University, 1958.
- HODSON, D. Toward a philosophically more valid science curriculum. **Science Education**, v. 72, n. 1, p. 19-40, 1988.
- HOFFMANN, R. How Should Chemists Think? **Scientific American**, p. 66-73, 1993.
- \_\_\_\_\_. Thoughts on aesthetics and visualization in chemistry. **Hyle International Journal for Philosophy of Chemistry**, v. 9, n. 1, Special Issue, p. 7-10, 2003.
- \_\_\_\_\_. O mesmo e o não-mesmo. São Paulo: Unesp, 2000. Também publicado no **Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry**, n. 9, p. 7-1, 2007.
- HOFFMANN, M. Thoughts on aesthetics and visualization in chemistry. **HYLE International Journal for Philosophy of Chemistry**, v. 9, p. 7-10, 2003.
- HOFFMANN, M. Learning without belief-change? **Cultural Studies of Science Education**, v. 2, p. 688-694, 2007.
- IZQUIERDO - AYMERICH, M. Bases epistemològiques del curriculum de ciències. **Educar**, v. 17, p. 69-90, 1999a.
- \_\_\_\_\_. **Memoria del proyecto docente e investigador**. Bellaterra: Universidade Autònoma de Barcelona, 1999b.
- LABARCA, M.; BEJARANO, N. R. R.; EICHLER, M. L. Química e filosofia: rumo a uma frutífera colaboração. **Química Nova**, v. 36, n. 8, p.1-17, 2013.
- LASZLO, P. Chemical Analysis as Dematerialization. **Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry**, v. 4, n. 1, p. 29-38, 1998.
- \_\_\_\_\_. Playing with Molecular Models. **Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry**, v. 6, n. 1, p. 85-97, 2000.
- \_\_\_\_\_. Towards teaching chemistry as a language. **Science & Education**, v. 22, n. 7, p. 1669-1706, 2013.
- LOMBARDI, O.; PÉREZ RANSANZ, A. R. En defensa de la autonomía de la química frente a la física. discusión de um problema filosófico. In: J. A. Chamizo (ed), **História y Filosofía de la Química**. Aportes de la Enseñanza, Siglo XXI, México, 2010. p. 195-210.
- LOSEE, J. **Introducción histórica a la filosofía de la ciência**. Madrid: Alianza, 1997. Edición original en inglês de 1972.
- MORGAN, M. S.; MORRISON, M. **Model as mediators**: perspectives on natural and social science. Cambridge, UK: Cambridge University, 1999.
- MINAYO, M. C. S. et al. **Pesquisa social**: teoria, método e criatividade. Petropolis: Vozes, 1994.

NYE, M. J. From chemical philosophy to theoretical chemistry, University of California Press: Berkeley, 1993.

PESSOA JÚNIOR, O. A representação pictórica de entidades quânticas na química. **Química Nova na Escola**, n. 7, p. 25-33, 2007.

PICKERING, A. Living in the read world. In: GOODING, D.; PINCH, T.; SCHAFFER, S. (Ed.). **The use of the experiment**. Cambridge, UK: Cambridge University, 1989.

PRIMAS, H. **Chemistry, quantum mechanics, reductionism: perspectives in theoretical chemistry**. Berlin: Springer-Verlag, 1983.

RIBEIRO, M. A. P. **Integração da filosofia da química no currículo de formação inicial de professores: contributos para uma filosofia no ensino**. 2014. Tese (Doutorado em Educação, Teoria e Desenvolvimento Curricular) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2014.

ROSEMBERG, A. **Darwinism in philosophy, social science and policy**. Cambridge: Cambridge University, 2000.

\_\_\_\_\_. **Philosophy of science: a contemporary introduction**. 2. ed. Routledge, London: Psychology Press, 2005.

SCERRI, E. R. Has chemistry been at least approximately reduced to quantum mechanics? **PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association**, v. 1994, n. 1, p. 160-170, 1994.

\_\_\_\_\_. Emergence and application of philosophy of chemistry in chemistry education. **School Science Review**, v. 81, p. 85-87, 2000.

\_\_\_\_\_. Philosophy of chemistry: a new interdisciplinary field? **Journal of Chemical Education**, v. 77, n. 4, p. 522-525, 2000b.

\_\_\_\_\_. ; MCINTYRE, L. The case for philosophy of chemistry. **Synthese**, v. 111, p. 213 – 232, 1997.

SPECTOR, T. I. The aesthetics of molecular representation: from the empirical to the constitutive. **Foundations of Chemistry**, v. 5, n. 3, p. 215-236, 2003.

SCHUMMER, J. Coping with the growth of chemical knowledge: challenges for chemistry documentation, education and working chemists. **Educación Química**, v. 10, n. 2, p. 92- 101, 1999.

\_\_\_\_\_. The preference of models over laws of nature in chemistry. **HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry in Chemistry**, v. 22, n. 1, p. 87-101, 2014.

SMITH, M. U.; SIEGEL, H. Knowing, believing, and understanding: what goals for science education? **Science & Education**, v. 13, p. 553-582, 2004.

SILVA FILHO, W.; SANTOS, F. Disagreement and the value of reflection. 2016.

SOSA, E. Reliabilism and intellectual virtue. In: AXTELL, G. (ed.) **Knowledge, belief, and character: readings in virtue epistemology**. Lanham, Boulder, New York, Oxford : Rowman & Littlefield, 2000, pp. 19-32, 1991.

SUPPE, F. **The semantic conception of theories and scientific realism**. Urbana/Chicago: University of Illinois, 1989.

\_\_\_\_\_. Understanding scientific theories: an assessment of developments, 1969 – 1998. **Philosophy of Science**, v. 67, p. 112-115, 2000.

VAN FRAASSEN, B. C. **The scientific image**. Oxford: Clarendon, 1980.

\_\_\_\_\_. **A imagem científica**. Trad. Luiz Henrique de Araújo Dutra. São Paulo: Edunesp: Discurso Editorial, 2007.

VAN BRAKEL, J. On the neglect of the philosophy of chemistry. **Foundations of Chemistry**, v. 1, p. 111–174, 1999.

\_\_\_\_\_. **Philosophy of chemistry: between the manifest and the scientific image**. Leuven: Leuven University, 2000.

VEMULAPALLI, G. K.; BYERLY, H. Remnants of reductionism. **Foundations of Chemistry**, v. 1, n. 1, p. 17-41, 1999.

VIHALEMM, R. The autonomy of chemistry: old and new problems. **Foundations of Chemistry**, v.13, n. 2, p. 97–107, 2011.