

O Aspecto Tecnocientífico do Conhecimento Químico Contemporâneo¹

The Technoscientific Aspect of Contemporary Chemical Knowledge

El Aspecto Tecnocientífico del Conocimiento Químico Contemporáneo

Flavio Tajima Barbosa (tajima.barbosa@gmail.com)
Universidade Federal do Paraná
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4465-8157>

Leonir Lorenzetti (leonirlorenzetti22@gmail.com)
Universidade Federal do Paraná
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0208-2965>

Joanez Aparecida Aires (joanez.ufpr@gmail.com)
Universidade Federal do Paraná
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2925-0826>

Resumo

Se levarmos em conta a maneira como o conhecimento químico é construído, veremos que o químico opera sob a perspectiva do saber fazer, criando seus próprios objetos científicos e controlando seus processos, convertendo-os, ao final, em dispositivos. Desse modo, julgamos que um aspecto do empreendimento químico que merece a atenção dos pesquisadores, especialmente daqueles dedicados à educação científica, diz respeito ao aspecto tecnocientífico do conhecimento químico contemporâneo, sobretudo aquele vinculado à produção de artefatos técnicos. É sob essa perspectiva que este ensaio teórico caracteriza a química como uma tecnociência. Assim, buscando explorar essa questão, dividimos este ensaio em quatro partes. Na primeira parte, argumentamos sobre a especificidade do conhecimento químico, destacando a sua natureza híbrida, que mistura atividades científicas com aplicações tecnológicas. Em seguida, exploramos a noção de tecnociência como uma maneira de conhecer e agir. Na terceira parte, abordamos a química enquanto uma tecnociência, buscando mostrar como esta ciência se relaciona com a produção de artefatos. Por fim, discutimos algumas implicações dos aspectos tecnocientíficos para a Educação em Química, indicando caminhos possíveis para o ensino. Concluimos, a partir do nosso foco na Química, que uma compreensão mais

¹ Este artigo é uma versão ampliada e rediscutida do trabalho publicado nos Anais do XX Encontro Nacional de Ensino de Química realizado de forma virtual entre os dias 8 e 11 de março de 2021.

focalizada das diferentes ciências e suas práticas pode auxiliar os educadores a conceberem contextos mais autênticos para o ensino e aprendizagem de cada disciplina.

Palavras-chave: Tecnociência. Filosofia da Química. Educação em Química.

Abstract

If we take into account the way in which chemical knowledge is constructed, we will see that the chemist operates from the perspective of know-how, creating his own scientific objects and controlling their processes, converting them, in the end, into devices. Thus, we believe that an aspect of the chemical enterprise that deserves the attention of researchers, especially those dedicated to scientific education, concerns the technoscientific aspect of contemporary chemical knowledge, especially that linked to the production of technical artifacts. It is from this perspective that this theoretical essay characterizes chemistry as a technoscience. So, seeking to explore this issue, we have divided this essay into four parts. In the first part, we argue about the specificity of chemical knowledge, highlighting its hybrid nature, which mixes scientific activities with technological applications. We then explore the notion of technoscience as a way of knowing and acting. In the third part, we approach chemistry as a technoscience, seeking to show how this science relates to the production of artifacts. Finally, we discuss some implications of technoscientific aspects for Chemistry Education, indicating possible paths for teaching. We conclude, from our focus on Chemistry, that a more focused understanding of different sciences and their practices can help educators to design more authentic contexts for teaching and learning in each discipline.

Keywords: Technoscience. Philosophy of Chemistry. Chemistry Education.

Resumen

Si tenemos en cuenta la forma en que se construye el conocimiento químico, veremos que el químico opera desde la perspectiva del saber hacer, creando sus propios objetos científicos y controlando sus procesos, convirtiéndolos finalmente en dispositivos. Así, creemos que un aspecto de la empresa química que merece la atención de los investigadores, especialmente los que se dedican a la educación científica, tiene que ver con el aspecto tecnocientífico del conocimiento químico contemporáneo, especialmente el vinculado a la producción de artefactos técnicos. Es desde esta perspectiva que este ensayo teórico caracteriza a la química como tecnociencia. Entonces, buscando explorar este tema, hemos dividido este ensayo en cuatro partes. En la primera parte, discutimos sobre la especificidad del conocimiento químico, destacando su carácter híbrido, que mezcla actividades científicas con aplicaciones tecnológicas. Luego exploramos la noción de tecnociencia como una forma de conocer y actuar. En la tercera parte, abordamos la

química como una tecnociencia, buscando mostrar cómo esta ciencia se relaciona con la producción de artefactos. Finalmente, discutimos algunas implicaciones de los aspectos tecnocientíficos para la Educación Química, indicando posibles caminos para la docencia. Concluimos, desde nuestro enfoque en la Química, que una comprensión más enfocada de las diferentes ciencias y sus prácticas puede ayudar a los educadores a diseñar contextos más auténticos para la enseñanza y el aprendizaje en cada disciplina.

Palabras clave: Tecnociencia. Filosofía de la Química. Educación Química.

Introdução

A educação científica compõe-se não apenas dos conteúdos da ciência, mas dos seus processos de produção e justificação. A atenção a esses aspectos é de fundamental importância para a educação científica, visto que a partir deles o estudante pode compreender os impactos sociais provocados pela ciência e pela tecnologia. Com isso, é possível reconhecer, dentre outras questões, o fato de que decisões sobre ciência e desenvolvimento tecnológico podem ser tomadas em busca de interesses particulares, o que evidencia a sua não-neutralidade (Hodson, 2011).

Diante disso, pensamos ser necessário situar a ciência em seu autêntico contexto social, mostrando a intrínseca relação entre o desenvolvimento científico e tecnológico e a sociedade, bem como as possibilidades de instauração de um regime de produção e difusão de conhecimento que leve em conta o bem-estar social. Dessa forma, além de aspectos relativos às teorias e aos produtos da ciência, a educação deve buscar uma formação que compreenda os valores culturais, sociais e coletivos envolvidos na produção do conhecimento científico.

Levando-se em conta a especificidade de cada uma das ciências, partimos da premissa de que a química tem um papel de grande importância no processo de transformação social, já que o seu desenvolvimento impacta diretamente a experiência humana. Portanto, compreender os valores e intencionalidades presentes na materialização dos produtos químicos é condição necessária para uma interpretação crítica do universo científico-tecnológico que nos rodeia.

Entendemos que o ideal é que os alunos compreendam não apenas os conceitos e processos químicos, mas também como estes surgem e são justificados. Portanto, quando pensamos no ensino da química, devemos levar em consideração tanto as

particularidades epistemológicas da ciência química, quanto o contexto no qual essa é desenvolvida.

Para esse fim, a filosofia da química pode oferecer importantes subsídios. Suas reflexões possibilitam identificar o território de investigação dos químicos com maior precisão, levando-nos a reconhecer que a química é uma ciência que oferece ao mundo um modo muito próprio e específico de conhecer a natureza. Se levarmos em conta a maneira como o químico opera, veremos que ele não considera a natureza do mesmo ponto de vista do físico, ou seja, exterior ao mundo. Pelo contrário: o químico opera sob a perspectiva do saber fazer, criando seus próprios objetos científicos e controlando seus processos, convertendo-os, ao final, em dispositivos. Tudo isso a partir de um espaço de trabalho que ele construiu neste mundo para si, um espaço destinado a representações e intervenções: o laboratório (Bensaude-Vincent; Simon, 2008). Nesse espaço fechado, o fenômeno natural é desfeito e refeito — o experimentador o analisa, purifica, sintetiza. Para o químico, portanto, o conhecimento da natureza e das suas operações passa pelo factual: é necessário fazer para conhecer (Ribeiro, 2016).

Uma vez que as substâncias são os objetivos e os resultados de algumas das mais importantes práticas experimentais da química, neste ensaio teórico procuramos caracterizar a química como uma tecnociência. Segundo Tala (2011), a noção de tecnociência surge a partir de estudos da filosofia e da sociologia da ciência, bem como das discussões com cientistas praticantes. Para Hacking (2012), a tecnociência é uma característica da atividade das ciências experimentais, sendo que seus produtos são o resultado de *representar e intervir*, como o nome de sua obra indica. Para esse autor, no laboratório o cientista procura intervir no mundo usando aparelhos e instrumentos, aumentando seu controle sobre os fenômenos e possibilitando novos desempenhos.

Desse modo, a tecnociência pode ser associada a uma filosofia da tecnologia, a qual é orientada para o modo tecnológico de estar no mundo, onde o *design* constitui a ponte cognitiva entre as ideias e os produtos tecnológicos existentes no mundo real. Assim, conforme salienta Chamizo (2013), construção, implementação e fabricação são etapas diferentes para o mesmo objetivo: o mundo projetado.

A partir do pressuposto de que a noção de tecnociência pode ser empregada para analisar o conhecimento químico (Bensaude-Vincent, 2013b; Ribeiro, 2014), pensamos

que este ensaio teórico pode contribuir para a educação científica, já que a partir desta perspectiva é possível vislumbrar e reconhecer as construções químicas tanto como instrumentos para pensar o mundo natural quanto para transformar o mundo material. Assim, procuraremos explorar com este ensaio o seguinte questionamento: *Quais aspectos do conhecimento químico o caracterizam como uma tecnociência?*

Buscando responder a essa questão, dividimos este ensaio em quatro partes. Na primeira parte, apresentamos alguns argumentos relacionados à especificidade do conhecimento químico, destacando a sua natureza híbrida, que mistura atividades científicas com aplicações tecnológicas. Na parte seguinte, exploramos a noção de tecnociência como uma maneira de conhecer e agir, na qual se busca compreender os efeitos da intervenção técnica sobre a natureza. Na terceira parte, analisamos a química como uma tecnociência, buscando mostrar sua relação com a produção de artefatos e a importância de uma ética química. Na parte final, discutimos algumas implicações dos aspectos tecnocientíficos para a Educação em Química, indicando a partir disso caminhos possíveis para o ensino.

Um Modo Específico de se Construir Conhecimento - O Caso da Química

Filósofos e historiadores da química destacaram a natureza híbrida ou dual da empresa química, que mistura atividades científicas com aplicações tecnológicas (Bensaude-Vincent; Simon, 2008; Schummer 1998). Químicos não estão apenas interessados em desenvolver soluções coerentes e causais para os fenômenos naturais, um dos objetivos centrais da investigação científica. Eles também procuram criar processos e conhecimentos que as pessoas possam utilizar para ampliar as suas capacidades e satisfazer necessidades — um objetivo central das atividades tecnológicas. Podemos, assim, compreender que os químicos fabricam a realidade (objetos, substâncias, processos) com a qual trabalham, criando condições materiais e selecionando ferramentas teóricas e instrumentais para *observar* e *analisar* os objetos que produziram.

Como bem salienta Ribeiro (2016), os químicos esforçam-se para compreender a natureza transformando-a por meio de manipulações materiais. Seus objetivos não se resumem a descrever, explicar e prever as propriedades e o comportamento de

substâncias químicas, mas também envolve transformá-las e criar entidades químicas com aplicações potenciais. Então, eis que nos defrontamos com uma característica marcante da química: os seus produtos têm caráter tecnológico e se capilarizam no seio da sociedade, influenciando fortemente o modo como organizamos nossas relações sociais. Daí a importância de se compreender a química em seus aspectos mais amplos.

Segundo Talanquer (2013), os químicos aprendem sobre a natureza por meio de artefatos de sua própria criação. Eles desenvolvem conhecimento e compreensão isolando, analisando e sintetizando substâncias materiais. Embora possa-se afirmar, como salienta Chamizo (2013), que contemporaneamente outras ciências, como a física e a biologia, também estejam envolvidas na criação de seus próprios objetos de estudo (por exemplo, partículas subatômicas, organismos geneticamente modificados), a síntese de novas substâncias e a implementação de novos processos engloba grande parte das atividades nas quais os químicos estão envolvidos. Atualmente, se olharmos para as publicações acadêmicas dos químicos, podemos ver que a criação de novas moléculas constitui uma parte importante do seu trabalho (Bensaude-Vincent, 2013a). As substâncias químicas são, portanto, consideradas instrumentos para a ação: “um conjunto de ferramentas ou instrumentos com os quais podemos fazer os materiais agirem no mundo” (Bensaude-Vincent; Simon, 2008, p. 206).

Dessa forma, a principal maneira como os químicos conhecem é por meio do fazer. O fazer aumenta a complexidade do mundo, já que seus produtos acabam se inserindo na dinâmica das interações materiais: ao mesmo tempo que lidam com estruturas ordenadas, como moléculas e cristais, os químicos lidam com criações, principalmente, nas sínteses químicas (Hoffmann, 2007). Assim, podemos considerar os químicos como verdadeiros manufactureiros e artesãos, pois além de criativos, também têm como preocupação o contexto de aplicação daquilo que criam. Tal dimensão prática possibilita dar aos conceitos químicos um enorme ganho de significado, além de uma reflexão sobre uma ética química (Rozentaliski, 2018).

Portanto, podemos considerar a química como uma tecnociência. A química pode ser caracterizada por um modo de conhecer o mundo por meio da intervenção técnica e visando um objetivo específico, que envolve, além de questões científicas e tecnológicas, questões políticas, econômicas e sociais. Apesar de não podermos caracterizar a química

como a única ciência que tem seu regime de produção de conhecimento associado ao modelo tecnocientífico, ela tem, ao menos em parte, a característica de uma empresa tecnocientífica.

Tecnociência – Um Novo Regime de Produção de Conhecimento

Estudos contemporâneos sobre as atividades e práticas dos cientistas revelaram como ciência e tecnologia atualmente estão fundidas em muitos campos importantes de pesquisa e desenvolvimento, resultando em uma profunda transformação na estrutura da prática científica e dos valores que as moldam (Bencze, 2001; Dagnino, 2007; Echeverría, 2003; Tala, 2011). O empreendimento científico está tão intimamente ligado a grandes projetos e a grandes máquinas e instrumentos que se pode falar de um fenômeno único e complexo, que é, ao mesmo tempo, ciência, tecnologia científica e ciência tecnológica: a tecnociência (Tala, 2013). Assim, como ressalta Pickstone, “[a] tecnociência é uma forma de saber e uma forma de fazer que se desenvolve a partir de uma rede que mescla universidades, instituições de pesquisa e laboratórios de pesquisa industrial” (Pickstone, 2001, p. 164, tradução nossa).

O termo tecnociência foi cunhado pela primeira vez na década de 1970 pelo filósofo belga Gilbert Hottois (1946-2019), como um nome mais apropriado para a ciência contemporânea e que fornecia uma base para criticar a concepção filosófica tradicional da ciência como fundamentalmente teórica e discursiva (Hottois, 2013). O termo tecnociência pretendia enfatizar não apenas que as aplicações tecnológicas eram o motor principal da pesquisa científica, mas também que grande parte da tecnologia está embutida na ciência.

Essa noção pretendia desconstruir a imagem purificada da ciência, como uma empresa puramente cognitiva, autônoma e desinteressada. Segundo Hottois (2013), a melhor descrição das questões da tecnociência é aquela que consegue evidenciar tanto os seus aspectos sociais, políticos, econômicos, quanto os seus poderes operativos de transgredir os limites do humano, do natural e culturalmente dado.

A noção de tecnociência denota não apenas a hibridização real da ciência, tecnologia, interesses comerciais e industriais, mas também um novo ideal de prática científica onde valores epistêmicos (como verdade e simplicidade) são desafiados por

valores não epistêmicos, como relevância social e econômica, e sensibilidade ao meio ambiente. Segundo Bensaude-Vincent (2013b), essas práticas tecnocientíficas são ativamente e intencionalmente promovidas por aqueles responsáveis pelas políticas científicas, com a expectativa de que tragam soluções potenciais para todos os tipos de problemas, desde os sociais e ambientais, até os econômicos.

Na empresa tecnocientífica, fabricam-se modelos que se apresentam como *substitutos animados* da natureza exterior. O modelo não é mais um espelho deformador, mas um substituto. Ele assume o lugar do real. O objetivo da tecnociência não é mais o de observar nem de compreender a natureza, mas de observar os efeitos de nossa intervenção técnica sobre ela. Assim, “equipado com instrumentos, o pesquisador vai para todos os lugares, para as paisagens distantes do infinitamente grande ao infinitamente pequeno” (Bensaude-Vincent, 2013a, p. 140).

Este fenômeno emergente altera sobremaneira o modo como compreendemos os processos de produção de conhecimento científico. Nas epistemologias desenvolvidas ao longo do século XX, principalmente aquelas de cunho lógico-positivistas, buscava-se representar a natureza exterior admitindo plenamente que as nossas representações eram construções que não refletiam o real, que nos seria inacessível. A consciência de nossos limites e a inacessibilidade aos fenômenos-em-si eram primordiais para aquelas teorias científicas. É por isso que, quando pensamos em modelos, estes são sempre aproximativos e simplificadores, mas não são indiferentes ao real. Ao contrário, como enfatizado por Tala (2011), a tecnociência é indiferente à realidade externa.

Esse recente desenvolvimento que mescla ciência e tecnologia naturalmente também altera a epistemologia das práticas de construção do conhecimento científico. Nesse regime de produção de conhecimento, as questões colocadas para a natureza não são mais sobre o *porquê* dos fenômenos, mas sobre o *como isto funciona*. Não se trata de pesquisar a causa escondida dos fenômenos ou as aparências, mas sim de operar sobre a natureza, buscando compreender os efeitos de nossa intervenção técnica sobre ela (Bensaude-Vincent, 2013a). Desse modo, não se pretende conhecer a natureza, mas, ao contrário, criar uma *segunda natureza* artificialmente e que se adeque melhor aos objetivos militares, políticos e econômicos, mesmo que com um custo social e ecológico elevado.

[Na empresa tecnocientífica] o conhecimento científico é um bem econômico que adquire seu valor pela sua raridade, sendo tal raridade o que lhe dá valor de mercado. Isso marca uma ruptura com o conceito (ideal) bem ancorado nos meios acadêmicos da pesquisa livre. Uma vez que ela é orientada para um objetivo, o conhecimento torna-se uma performance que será avaliada em função dos objetivos (Bensaude-Vincent, 2013a, p. 97).

Assim, a noção de tecnociência, concebida como uma maneira de conhecer e agir, e não apenas como pesquisas feitas com aparelhos e instrumentos, é a expressão da primazia da tecnologia *utilitária* sobre a ciência pura e desinteressada, ou como um termo usado para descrever o atual regime de pesquisa científica (Dagnino, 2008).

Os Dispositivos Técnicos - Instrumentos como Mediadores do Conhecimento

A fusão de ciência e tecnologia pode ocorrer também no dia a dia da pesquisa, onde se mesclam instrumentos científicos com diferentes configurações experimentais. Na construção do conhecimento científico, experimentação e modelagem, tecnologia e *design* não servem apenas como um meio metodológico de suporte, mas apresentam, ao contrário, um papel altamente cognitivo (Tala, 2013).

Na tecnociência, o *design* é o fator que permite a união entre o controle experimental e a compreensão conceitual do fenômeno em estudo, fornecendo um tipo aparente de *entendimento por controle*:

A ciência não consistiria em pura teoria, nem a tecnologia em pura aplicação, senão que ambas seriam integrantes de redes de cujos nós também fazem parte todo tipo de instrumentos, seres e objetos relevantes à atividade que se desenvolve no seu entorno. Os produtos da atividade científica - as teorias -, não poderiam então continuar sendo separadas dos instrumentos - as tecnologias, inclusive - que participam da sua elaboração (Dagnino, 2007, p. 12).

Neste regime de produção de conhecimento, os instrumentos cessam de ser simples instrumentos e extensão de nossos órgãos ou mediações entre nós e a natureza, e passam a ser autênticos dispositivos inseridos no mundo do laboratório. A importância dos instrumentos, marca decisiva da tecnociência, vem acompanhado de uma evolução clara dos valores vinculados à pesquisa científica. Como bem ressalta Bensaude-Vincent, “a escolha dos prêmios Nobel coloca na ordem do dia os instrumentos ou as técnicas, como a *Polymerase Chain Reaction*² (prêmio Nobel de Química em 1993), que recebeu um

² *Polymerase Chain Reaction*, ou reação em cadeia da polimerase, é uma técnica utilizada na biologia molecular para amplificar uma única cópia ou algumas cópias de um segmento de DNA em várias ordens

valor tal como a descoberta de uma lei ou a explicação de um fenômeno” (Bensaude-Vincent, 2013a, p. 59).

Os dispositivos técnicos, marca distintiva da tecnociência, além de executarem operações, intervêm ativamente sobre o mundo. O que o dispositivo apreende do fenômeno provém daquilo que nós queremos que ele faça com os objetos de investigação (Tala, 2013). Assim, o dispositivo não visa apenas representar a realidade objetiva — ele também intervêm sobre essa realidade e proporciona um resultado de tal intervenção. A imagem que pode ser obtida do resultado de tal intervenção não tem mais apenas a função de representar uma realidade que é inacessível aos sentidos, e que, portanto, teria a função de signo em relação a uma entidade inobservável. O que ela representa é também uma estrutura que é efeito de uma operação.

Assim, as medidas é que definem os conceitos na tecnociência. Se por um lado, na ciência experimental moderna as medidas eram sujeitadas a hipóteses teóricas, nas tecnociências as operações de medida definem os conceitos. Segundo Tala (2011), a função das teorias passa a ser a de fornecer modelos que sejam operacionalizáveis, ou seja, que sirvam para a realização de algo no procedimento ou dispositivo.

É desse modo que na tecnociência os modelos são utilizados como mediadores: eles funcionam não apenas como representações, mas também como meios de intervenção (Hacking, 2012). É quando manipulamos o modelo que esses recursos combinados nos permitem aprender como e por que nossas intervenções funcionam.

Quando pensamos na revolução ocorrida na química analítica³, por exemplo, verificamos que uma análise sobre o papel dos instrumentos científicos é importante porque, com ela, temos um amplo reconhecimento de que a construção de um novo instrumento pode nos ensinar sobre o mundo da mesma forma que uma nova teoria

de grandeza, gerando milhares a milhões de cópias de uma determinada sequência de DNA. O prêmio Nobel de Química de 2020 também se refere a essa técnica.

³ Segundo Baird, antes de 1920, os químicos analíticos determinavam a constituição química de alguns compostos desconhecidos, tratando-os com uma série de compostos conhecidos e observando o tipo de reações pelas quais passavam. Depois de 1950, os químicos analíticos passaram a determinar a constituição química de uma substância desconhecida usando uma variedade de instrumentos que permitiam a discriminação de produtos químicos em termos de suas propriedades físicas. Essa mudança envolveu o desenvolvimento de uma nova família de empresas de fabricação de instrumentos científicos e um novo nível de investimento necessário para fazer química analítica. “A química analítica é agora uma parte central de muitas pesquisas e controles industriais, integrada ao negócio de fabricar instrumentos visando fins comerciais” (Baird, 1993, p. 283, tradução nossa).

(Baird, 1993). Como consequência, temos que um fator que contribuiu para reforçar a perspectiva realista na química foi o advento de técnicas instrumentais na experimentação, as quais, ao aumentarem o acesso aos objetos da química, ampliaram a confiança naquilo que é observado. *Realismo operacional* seria, portanto, a frase certa para caracterizar a filosofia dos químicos (Bensaude-Vincent, 2009).

Portanto, os instrumentos não abrangem apenas um papel metodológico nas ciências naturais experimentais, mas também têm um papel epistemológico e cognitivo, na medida em que afetam nossas posições ontológicas. O real para o químico é aquilo que pode ser definido pelo instrumento. Sua ontologia é fortemente dependente dos valores definidos pela empresa tecnocientífica.

A Tecnoquímica - A Química enquanto uma Tecnociência

Segundo Hottois (2013, p. 320), é na química que encontramos pela primeira vez todos os aspectos que caracterizam a tecnociência contemporânea: “a química é operativa, produtiva, criativa, analítica e sintética; trata o real como decomponível e recomposto de novas maneiras, como manipulável”. Desse modo, o termo *tecnoquímica*, cunhado pelo químico e filósofo mexicano Antonio Chamizo, parece adequado para referirmo-nos às atividades derivadas do experimento químico que, com base em um conjunto específico de valores, transforma a realidade em que vivemos (Chamizo, 2013).

Os químicos não apenas testam ou inventam novas teorias, eles produzem novas substâncias cujo número está sempre aumentando. Segundo Schummer (1997), cerca de 95% de todas as substâncias químicas conhecidas são artificiais e não são encontradas na natureza. É nesse sentido que:

[a] tecnociência permeia as fronteiras epistemológicas e ontológicas tradicionalmente estabelecidas entre o inerte, o vivo, o pensante, o natural e o artificial, pois operam no nível transversal comum da molécula e do átomo. Um materialismo não metafísico, mas tecnocientífico, está crescendo. A tecnociência é um poder criativo que continuou a se expressar por meio das várias disciplinas e tecnologias de todo o qual existimos agora. No caso da química, as questões éticas levantadas são de âmbito coletivo direto: são econômicas e políticas (Hottois, 2013, p. 322, tradução nossa).

A química, ciência manipulativa, produtiva e criativa, ocupa-se em otimizar o rendimento de sua preparação de acordo com os padrões teóricos. Quanto maior o rendimento, melhor o resultado científico. Nesse sentido, a química pode ser abordada

como uma tecnociência se dois aspectos forem levados em consideração: a internalização da tecnologia em suas práticas investigativas e sua dupla característica como ciência pura e aplicada.

Bensaude-Vincent (2013b) argumenta que a natureza tecnocientífica da química manifesta-se na forma como os químicos pensam, exploram e transformam o mundo natural. Nesse sentido, segundo o químico Roald Hoffmann (2007), ao longo da história, os químicos têm se preocupado menos em descobrir os segredos profundos da natureza e mais com a síntese de novos compostos e com o desenho de novos processos para analisar e transformar a matéria. Sua abordagem para fazer ciência tem sido fundamentalmente pragmática, utilizando teorias e modelos tanto como ferramentas para a manipulação da matéria quanto como veículos de explicação e previsão (Nordmann, 2013).

A química é uma ciência na qual a mente humana não lida apenas com a natureza, mas também com suas próprias criações. As espécies químicas só podem ser definidas ao final de um processo de análise e purificação em laboratório, ou como o produto final de um processo de síntese. Os compostos químicos são definidos, portanto, como produtos de uma *atividade técnica*.

Longe de serem neutros, [os produtos da tecnociência] são apresentados como atendendo a determinados valores como durabilidade, valorização humana ou solidariedade. Nesse sentido, uma característica distintiva da química enquanto uma tecnociência é que sintetizar moléculas muitas vezes é apresentado como um meio para um fim. Ou seja, a síntese química pode ser justificada como um meio para curar, trazer saúde, ou criar uma bela arquitetura. Em qualquer caso, a química está carregada de valores como bem público, utilidade, beleza (Bensaude-Vincent, 2013b, p. 336, tradução nossa).

A ênfase na síntese da realidade reforçou a visão de Bachelard (2009), segundo a qual não há acesso direto à natureza, nem conhecimento da natureza sem a mediação de técnicas instrumentais. Diferentemente da física, muitas teorias e modelos químicos não são necessariamente destinados a explicar fenômenos. Pelo contrário, como bem afirma Hoffmann (2007), elas permitem que os químicos deem sentido aos dados fenomenológicos, criando histórias ou narrativas envolvendo átomos e moléculas. Assim, segundo a historiadora da química Ursula Klein (2001), símbolos e ícones de produtos químicos são tanto tentativas de representar a realidade como ferramentas de *design*

para testar ideias, executar simulações mentais e explorar características estruturais das substâncias.

De fato, a posição filosófica correspondente é que não há realidade oculta definitiva por trás dos fenômenos. “Não há mestre de marionetes mecânico nos bastidores que explica o mundo fenomenal; tudo o que há no mundo são agentes materiais que permitem que novas propriedades surjam através de seus diferentes relacionamentos entre si” (Bensaude-Vincent; Simon, 2008, p. 209, tradução nossa). *Indireto* pode ser uma palavra-chave para entender a maneira dos químicos de conhecer a natureza. Eles usam o desvio do laboratório para acessar a natureza.

A prática da química envolve frequentemente tanto a manipulação física quanto a mental, o que dá aos químicos a característica de *pensar com as mãos*. As perguntas essenciais que guiam a disciplina são igualmente sobre *o que nós podemos saber* bem como sobre *o que nós podemos fazer* com o que nós sabemos (Bensaude-Vincent; Simon, 2008). A síntese de novas substâncias químicas e o desenvolvimento de novas técnicas analíticas são problemas práticos, de ordem técnica, semelhantes aos problemas de engenharia.

Assim, os produtos da química sintética e analítica não são apenas ideias, mas novas substâncias e processos que mudam o nosso ambiente, e isso pode ter implicações tanto benéficas quanto danosas para a vida em nosso planeta. Nenhuma outra ciência tem um impacto potencial tão direto na natureza e na sociedade (Klein, 2005). As consequências econômicas e geopolíticas da introdução de novos produtos químicos, desde os corantes sintéticos no século XIX, aos polímeros, antibióticos bem como técnicas de análise ambiental no século passado foram enormes (Bensaude-Vincent, 2009). Assim, devido a sua forte relação com a indústria e o fato de que sua produção está vinculada a entidades materiais que são *úteis*, a química também é percebida por muitos como uma *ciência impura* (Bensaude-Vincent; Simon, 2008). Consequentemente, a íntima relação entre a química como ciência e a química como indústria dá à disciplina dimensões sociais, econômicas, políticas, ambientais e éticas que são únicas entre as ciências.

Desse modo, a noção de *natureza*, em química, não é um dado conjunto de substâncias nem um agente misterioso, mas a dinâmica possível entre todas as substâncias químicas, suas reatividades e transformações específicas. Nesse sentido,

segundo Schummer (2003), se substâncias há muito estabelecidas em certos contextos são usadas em contextos completamente novos, deve-se estar ciente de que são necessárias novas avaliações e testes confiáveis para verificar sua adequação a este novo contexto:

Como sabemos sobre a utilidade das substâncias em contextos reais? Afirmo que a maneira mais confiável é por meio da experiência prática nos mesmos contextos de uso. Uma vez que contextos reais de uso são muito complexos para serem completamente descritos por conceitos científicos relativamente simples, cuja simplicidade se deve a contextos experimentais simplificados, somos forçados a estudar o comportamento das substâncias em contextos reais a fim de tirar conclusões confiáveis. E quanto mais experiência tivermos, mais confiáveis serão nossas afirmações sobre sua utilidade em contextos reais, ou seja, se uma substância é boa ou má (Schummer, 2003, p. 730)

Para se conhecer o contexto de aplicação do conhecimento químico visando a realização de qualquer atividade humana, antes se faz necessário que se conheçam os critérios utilizados para avaliar as *ações* e os *valores* nela envolvidos. Os químicos selecionam os cursos de ação, instrumentos, compostos químicos e assim por diante. Como consequência, os objetos científicos estão repletos de decisões — de atos práticos — e também impregnam novas decisões. Portanto, os valores precisam ser estabelecidos em um discurso explícito sobre os objetivos da química e suas restrições morais.

É nesse sentido que podemos compreender as substâncias químicas como artefatos técnicos. Partindo da definição de Kroes e Meijers (2006, p. 2, tradução nossa), de que os artefatos técnicos têm uma natureza dual, isto é, “são (i) estruturas físicas projetadas, que realizam (ii) funções, que se referem à intencionalidade humana”, podemos compreender que os artefatos técnicos são produzidos e usados intencionalmente por seres humanos para realizar certos objetivos. É desse modo que os objetos químicos podem ser considerados artefatos técnicos, desde que se conheça as intencionalidades daqueles que os produziram.

Naturalmente, todos os artefatos técnicos estão contidos na esfera de ação humana, mas, em muitos casos também estão aliados a sistemas mais amplos, nos quais o funcionamento adequado dos artefatos não depende apenas da tecnologia em questão, mas também de fatores sociais, ou seja, do contexto no qual está inserido o artefato (Vermaas, 2011). É nesse sentido que Llored (2016) argumenta sobre a necessidade de um esquema conceitual sobre a natureza no qual possamos integrar melhor a

dependência mútua entre uma substância química e o contexto no qual ela está inserida. Esse ponto é de especial importância para a educação em química, já que os objetos científicos produzidos pelos químicos, seus produtos, acabam por impactar diretamente o modo como vivemos e como organizamos nossas relações sociais. Desse modo, quando tomamos como objetivo que a química escolar aborde questões da vida cotidiana e da sociedade, o currículo deve reconhecer que a química está incorporada nas culturas humanas e suas sociedades (Ribeiro, 2014).

Faz-se importante, desse modo, compreendermos que no processo de construção das ciências e tecnologias, os fatores sociais e cognitivos, e também os instrumentais e técnicos, estão intimamente interligados. Conforme ressalta Lewowicz (2015), concordamos que quanto mais perto estivermos do núcleo cognitivo das ciências, mais clara se tornará sua natureza social. “Contingências (sociais, materiais e simbólicas) não são meramente externalidades; eles são *constitutivos de fatos científicos*” (Lewowicz, 2015, p. 203, tradução nossa, grifo nosso).

Nesse sentido, dada a caracterização da química como uma tecnociência, é provável que conceituações universalistas e dicotômicas da ciência e da tecnologia não sejam suficientes para compreender as formas específicas de pensar e fazer na disciplina. A seguir, apresentamos algumas implicações dessa caracterização para a Educação em Química.

Implicações para a Educação em Química

No ensino de química, é bastante comum que no processo de contextualização os professores tentem conectar o conteúdo científico à vida cotidiana e à sociedade. Muitas vezes isso é feito de uma perspectiva técnico-instrumental, que apresenta ao estudante uma abordagem dos conteúdos que utiliza fatos do cotidiano como exemplos — e não de uma perspectiva crítica, por meio da qual o professor problematiza o papel da ciência e dos cientistas na sociedade, abordando-o sob diferentes perspectivas. Concordamos com Sjöstrom (2013) quando este afirma que muitos professores de ciências são otimistas do progresso, o que pode ser evidenciado pela prevalência de abordagens que assumem que os problemas da sociedade causados pela ciência podem ser resolvidos por ainda mais ciência e tecnologia.

Usualmente, a essência tecnológica da química não é levada em consideração no contexto da educação científica, o que faz com que uma parte importante do ensino desta ciência seja descolada das suas dimensões sociais, políticas, econômicas, ambientais e éticas. Diante disso, é necessária a compreensão de que a aplicação do conhecimento científico é uma ação prática e intencional, que serve a interesses que refletem valores éticos e sociais específicos.

A incorporação ao mundo de novas substâncias, fruto do trabalho dos químicos sintéticos, torna o mundo muito mais complexo. Sendo assim, os valores devem ser tomados como critério de avaliação das atividades e produtos científicos, já que essas não podem ser dissociadas dos valores incorporados em suas ações. Isso exige que o ensino de química leve em consideração o fato de que os produtos químicos são de responsabilidade de quem os faz. Assim, “quando considerando a química como tecnocímica, a ética não deve faltar ao seu ensino” (Chamizo, 2013, p. 167).

A legitimidade de uma aplicação não pode apenas ser considerada em função de sua eficácia técnica, pois requer a consideração de valores éticos e sociais relacionados, por exemplo, efeitos danosos, riscos, benefícios e alternativas. Assim, compreender o contexto sociocultural no qual se dá o desenvolvimento técnico-científico, que diz respeito a perspectivas filosóficas, históricas, sociológicas, culturais e políticas, é tido como *condição* para o exercício da cidadania responsável e para dotar cada indivíduo com uma mente crítica.

Uma atitude ética, em linha com a era tecnocientífica, é a ética da responsabilidade (Hottois, 2013). Ao agir e intervir, o foco deve estar na antecipação e responsabilidade pelas consequências, avaliando as implicações das ações, monitorizando e corrigindo seus resultados, tendo em conta a complexidade e relatividade do contexto de qualquer empreendimento.

Uma grande parte das atividades dos químicos é direcionada ao projeto de substâncias e processos que satisfaçam necessidades específicas, ou que abordem problemas particulares em diversas áreas, como saúde, alimentação, energia e meio ambiente. Desse modo, precisamos pensar em práticas *autênticas* que podem ser usadas como contextos para o desenvolvimento, integração e aplicação de conhecimentos químicos fundamentais. Concordamos com Talanquer (2013, 2018), quando ele salienta

que atividades de *design*, nas quais é solicitado aos estudantes que criem e avaliem produtos ou soluções específicas para problemas, abrem várias oportunidades para que eles façam e justifiquem previsões e decisões, criem explicações e se envolvam na argumentação.

Assim, compreender a química como uma maneira poderosa tanto de pensar sobre o mundo material como de transformar a natureza para o benefício das pessoas poderia se tornar o resultado central da aprendizagem em química. A ênfase poderia ser colocada no desenvolvimento do conhecimento e das habilidades intelectuais necessárias para compreender as maneiras pelas quais a química permitiu aos humanos interagir com seu ambiente.

Dessa forma, entendemos que é ideal que os alunos compreendam não apenas os conceitos e processos químicos, mas também como surgem e como são justificados (Scerri, 2001). É nesse sentido que propomos que a Educação em Química poderia incluir abordagens voltadas para a avaliação dos desenvolvimentos e usos do conhecimento químico, de suas práticas e produtos, bem como a compreensão da inserção sociocultural das ideias químicas. Além disso, a Educação em Química poderia engajar os alunos em uma análise reflexiva das perspectivas históricas, filosóficas, sociológicas e culturais, bem como em ações democrático-críticas que envolvam a química.

No entanto, no que se refere às noções anteriormente apresentadas, um dos desafios reside na formação de professores, pois estes em geral têm pouca exposição a questões de conhecimento químico para além daquele de conteúdo. A prática docente requer tanto conhecimentos conceituais quanto epistemológicos, visto que, para que os conceitos possam ser plenamente compreendidos, é necessário que se conheça os princípios epistemológicos que lhes são subjacentes (Barbosa, Aires, 2018). Nesse sentido, pensamos que as reflexões oriundas da filosofia da química podem contribuir para a Educação em Química, em um esforço para desenvolver nos professores uma visão epistemológica que leve em conta a especificidade desse empreendimento. Temos como premissa que os educadores em química devem ter os meios para apresentar argumentos filosóficos reflexivos em suas aulas, já que a reflexão filosófica sobre a natureza do campo de estudo possibilita o desenvolvimento de perspectivas éticas em relação aos produtos da ciência.

Levando em conta essas diferentes perspectivas, compreendemos que os estudantes precisam ser levados a refletir criticamente sobre as consequências sociais, econômicas, políticas e ambientais de suas ações. É nesse sentido que a natureza tecnocientífica das ciências contemporâneas, e em especial a da química, precisa ser contemplada na educação científica, principalmente no que diz respeito aos impactos da inovação tecnológica e as dinâmicas de produção e circulação dessas tecnologias.

Conclusões

Este ensaio teórico teve como objetivo caracterizar aspectos da química enquanto uma tecnociência, tendo como pano de fundo as reflexões oriundas da filosofia da química e da filosofia da tecnologia. Procuramos com este trabalho apresentar o conhecimento químico como um saber que se difere, ao menos em parte, das outras ciências, já que responde a problemas que lhe são específicos, com métodos, práticas e objetos epistêmicos singulares.

A perspectiva tecnocientífica do conhecimento químico, aqui apresentada, contrasta com a visão arraigada da relação entre ciência e tecnologia, na qual a tecnologia é apresentada como a mera aplicação de teorias científicas. Procuramos argumentar que o papel dos experimentos vai muito além da simples constituição de dados. Os instrumentos muitas vezes viabilizam novas concepções ontológicas sobre a matéria adotada pelos cientistas, pois possibilitam, além da representação, distintas formas de operação e transformação dos constituintes materiais de nosso mundo.

Consideramos que esta perspectiva aproxima os objetos e processos de pesquisa científica aos da pesquisa tecnológica, já que o desafio da pesquisa científica não está apenas em considerações altamente teóricas, mas também, na capacidade de construir e controlar, por meio de instrumentos científicos, fenômenos construídos em laboratório.

Pensamos que as considerações aqui propostas sobre a noção de tecnoquímica — onde o conhecimento é construído por meio da intervenção técnica — podem subsidiar práticas que levem em consideração um ensino de química contextual, axiológico e praxiológico (Ribeiro, 2014), que favoreça a compreensão e avaliação dos impactos políticos, econômicos e ambientais da geração e consumo dos produtos químicos.

Portanto, buscamos traçar paralelos entre a química enquanto ciência e enquanto técnica, buscando trazer reflexões que possam subsidiar a prática docente na formação de cidadãos responsáveis e críticos. A partir das reflexões que buscamos apresentar neste trabalho, argumentamos que futuras pesquisas em educação química podem se beneficiar não apenas de investigações filosóficas, mas também sociológicas e históricas das ciências químicas. Finalizamos afirmando que compreender melhor como são as várias práticas das diferentes ciências pode auxiliar os educadores em ciências a conceber contextos mais autênticos para o ensino e aprendizagem de cada uma destas disciplinas nas escolas.

Referências

- Bachelard, G. (2009). *O Pluralismo Coerente da Química Moderna*. Contraponto Editora.
- Baird, D. (1993). Analytical chemistry and the 'big' scientific instrumentation revolution. *Annals of Science*, 50, 267-290.
- Barbosa, F. T., & Aires, J. A. (2018). A natureza da ciência e a formação de professores: um diálogo necessário. *Actio: Docência em Ciências*, 3, 115-130.
- Bencze, J. L. (2001). 'Technoscience' Education: empowering citizens against the tyranny of school science. *International Journal of Technology and Design Education*, 11, 273-298.
- Bensaude-Vincent, B. (2009). Philosophy of chemistry. In A. Brenner, & J. Gayon (Eds.), *French studies in the philosophy of science: contemporary research in France* (pp. 165-186). Springer.
- Bensaude-Vincent, B. (2013a). *As vertigens da tecnociência: moldar o mundo átomo por átomo*. (J. L. Cazarotto, Trad.). Ideias & Letras.
- Bensaude-Vincent, B. (2013b). Chemistry as a technoscience? In J. Llored (Ed.), *The philosophy of chemistry: practices, methodologies and concepts* (pp. 330-341). Cambridge Scholars Publishing.
- Bensaude-Vincent, B., & Simon, J. (2008). *Chemistry: the impure science*. Imperial College Press.
- Chamizo, J. A. (2013). Technochemistry: One of the chemists' ways of knowing. *Foundations of Chemistry*, 15 (2), 157-170.
- Dagnino, R. (2008). As Trajetórias dos Estudos sobre Ciência, Tecnologia e Sociedade e da Política Científica e Tecnológica na Ibero-América. *ALEXANDRIA - Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 1 (2), 3-36.
- Dagnino, R. (2007). *Um Debate sobre a Tecnociência: neutralidade da ciência e determinismo tecnológico*. Editora da Unicamp.
-

- Echeverría, J. (2003). *La revolución tecnocientífica*. Fondo de Cultura Económica de España.
- Hacking, I. (2012). *Representar e Intervir: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural*. (P. R. Oliveira, Trad.). EdUERJ.
- Hodson, D. (2011). *Looking to the future: Building a curriculum for social activism*. Sense Publishers.
- Hoffmann, R. (2007). What might philosophy of science look like if chemists built it? *Synthese*, 155, 321–336.
- Hottois, G. (2013). Some remarks on the origin, scope and evolution of the notion of technoscience. In J. Llored (Ed.), *The philosophy of chemistry: practices, methodologies and concepts* (pp. 320-329). Cambridge Scholars Publishing.
- Klein, U. (2001). Berzelian formulas as paper tools in early nineteenth-century chemistry. *Foundations of chemistry*, 3, 7-32.
- Klein, U. (2005). Technoscience avant la lettre. *Perspectives on Science*, 13 (2), 226-266.
- Kroes, P., & Meijers, A. (2006). The dual nature of technical artefacts. *Studies in History and Philosophy of Science*, 27, 1- 4.
- Lewowicz, L. (2015). A demarcation between good and bad constructivism: the case of chemical substances as artifactual materials. *Doispontos*, 12 (1), 197-206.
- Llored, J. (2016). How philosophy of nature needs philosophy of chemistry. *Philosophica*, 47, 93-108.
- Nordmann, A. (2013). Metachemistry. In J. Llored (Ed.), *The philosophy of chemistry: practices, methodologies and concepts* (pp. 725-743). Cambridge Scholars Publishing.
- Pickstone, J. (2001). *Ways of knowing: a new history of science, technology and medicine*. Manchester University Press.
- Ribeiro, M. A. P. (2014). *Integração da Filosofia da Química no currículo de formação inicial de professores: Contributos para uma filosofia no ensino* [Tese de Doutorado, Universidade de Lisboa].
- Ribeiro, M. A. P. (2016). A emergência da Filosofia da Química como campo disciplinar. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 16 (2), 215-236.
- Rozentalski, E. F. (2018). *Indo além da Natureza da Ciência: o filosofar sobre a Química por meio da ética Química* [Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo].
- Scerri, E. (2001). The new philosophy of chemistry and its relevance to chemical education. *Chemistry Education: research and practice in Europe*, 2, (2), 165-170.
- Schummer, J. (1997). Challenging Standard Distinctions between Science and Technology: The Case of Preparative Chemistry. *HYLE – An International Journal for the Philosophy of Chemistry*, 3, 81-94.
- Schummer, J. (1998). The chemical core of chemistry. *HYLE – International journal for philosophy of chemistry*, 4, 129-162.
-

- Schummer, J. (2003). The notion of nature in chemistry. *Studies in History and Philosophy of Science*, 34, 705–736.
- Sjöström, J. (2013). Towards Bildung-Oriented Chemistry Education. *Science & Education*, 22, 1873–1890.
- Tala, S. (2011). Enculturation into Technoscience: Analysis of the Views of Novices and Experts on Modelling and Learning in Nanophysics. *Science & Education*, 20, 733-760.
- Tala, S. (2013). The nature of technoscience (NOTS). In M. Clough, J. K. Olson, & D. S. Niederhauser. (Eds.). *The nature of technology: implications for learning and teaching*. Sense Publishers.
- Talanquer, V. (2013). School chemistry: the need for transgression. *Science & Education*, 22, 1757-1773.
- Talanquer, V. (2018). Chemical rationales: another triplet for chemical thinking, *International Journal of Science Education*, 40 (15), 1874-1890.
- Vermaas, P., Kroes, P., van de Poel, I., Franssen, M., & Houkes, W. (2011). *A philosophy of technology: from technical artefacts to sociotechnical systems*. Eindhoven University of Technology.

Submetido em: 10/07/2021

Aceito em: 31/01/2022

Publicado em: 02/03/2022