

## Elementos para a constituição da Natureza da Química: percepções de professores-pesquisadores sobre os processos de construção do conhecimento químico

Flávio Tajima Barbosa

Joanez A. Aires

### Resumo

*Um dos objetivos da educação científica no contexto contemporâneo é o de favorecer a reflexão e compreensão dos processos pelos quais a ciência é construída, a chamada abordagem Natureza da Ciência (NdC). Pesquisas sugerem que essa abordagem pode ser enriquecida se levarmos em consideração as peculiaridades das diferentes ciências e, também, a perspectiva de cientistas praticantes de sua própria atividade, pois, assim, é possível ampliar o escopo de abrangência das propostas que buscam construir compreensões sobre a ciência e seus processos de produção. Assim, este trabalho, que se constitui de um recorte de uma pesquisa mais ampla de doutorado, tem como objetivo investigar quais são os objetivos e métodos utilizados por pesquisadores em química em um Programa de Pós-Graduação em Química de uma universidade pública brasileira no estudo da natureza. Os dados foram constituídos por meio de entrevistas semiestruturadas realizadas com pesquisadores químicos desse programa, a saber, professores-pesquisadores-orientadores. A metodologia de análise dos dados utilizada foi a Análise Textual Discursiva (ATD). Como resultado, identificamos duas Categorias Emergentes: Funcionalização da matéria a nível molecular e Valorização das evidências oferecidas pelos equipamentos. Os resultados sugerem que não existe um conjunto único de elementos da NdC adequados a todas as disciplinas e contextos. As descrições dos cientistas sobre suas pesquisas e suas práticas cotidianas fornecem uma visão da química que pode ser comparada e contrastada com visões sobre a NdC, fornecendo evidências empíricas sobre como o conhecimento químico se desenvolve e as relações entre ciência e tecnologia, numa perspectiva da Natureza da Química (NdQ). Pensamos que as contribuições deste trabalho podem oferecer caminhos para compreendermos quais fatores estão envolvidos na constituição do conhecimento químico, oferecendo subsídios para o entendimento dessa ciência enquanto processo.*

**Palavras-chave:** Epistemologia química; Natureza da química; Natureza da ciência; Educação em química.

### Abstract

*One of the objectives of scientific education in the contemporary context is to encourage reflection and understanding of the processes through which science is constructed, the so-called Nature of Science (NoS) approach. Research suggests that this approach can be enriched if we take into account the peculiarities of different sciences and also the perspective of practicing scientists about their own activity, as it is thus possible to expand the scope of proposals that seek to build understandings about the science and its production processes. Thus, this work, which is an excerpt from a broader doctoral research, aims to investigate the objectives and methods used by chemistry researchers in a Postgraduate Program in Chemistry at a Brazilian public university in the study from nature. The data were constituted through semi-structured interviews carried out with chemical researchers from this program, namely, professors-researchers-advisors. The data analysis methodology used was Discursive Textual Analysis (ATD). As a result, we identified two Emerging Categories: Functionalization of matter at the molecular level and Valuation of evidences offered by equipment. The results suggest that there is no single set of NoS elements suitable for all disciplines and contexts. Scientists' descriptions of their research and everyday practices provide a view of chemistry that can be compared and contrasted with views on NoS, providing empirical evidence on how chemical knowledge develops and the relationships between science and technology, from a perspective of the Nature of Chemistry (NoC). We think that the contributions of this work can offer ways to understand which factors are involved in the constitution of chemical knowledge, offering support for the understanding of this science as a process.*

**Keywords:** Chemical Epistemology; Nature of chemistry; Nature of science; Education in chemistry.

## INTRODUÇÃO

Um dos principais objetivos de se ensinar ciências nas escolas é proporcionar aos estudantes a possibilidade de tomada de decisão sobre questões que envolvam o conhecimento científico e tecnológico, primeiramente na vida pessoal, mas também na esfera pública. Isso envolve, naturalmente, conhecer não apenas os produtos da ciência – suas teorias, modelos, equações e diagramas –, mas também como o conhecimento científico é construído. Afinal, se vivemos em uma sociedade na qual as ciências e as tecnologias se apresentam hegemônicas nas tomadas de decisões públicas - as quais envolvem questões sobre saúde, alimentação, meio ambiente, economia, transporte, dentre outras -, o cidadão deve compreender o porquê de o conhecimento científico ser privilegiado em detrimento de outras formas de se conhecer.

Nesse sentido, é importante que os estudantes das ciências compreendam não apenas os procedimentos para a resolução algorítmica de ‘exercícios científicos’ - apresentados, muitas vezes, acriticamente em livros didáticos como forma de memorização dos conteúdos -, mas também algo sobre como esse tipo de conhecimento é construído, quais suas características, suas pretensões e, principalmente, quais os motivos que nos levam, enquanto sociedade, a confiar nas ciências<sup>1,2</sup>. O desafio, portanto, reside na compreensão sobre como o conhecimento científico é construído. Ou seja, mais do que aprender sobre os produtos do conhecimento científico, os estudantes de ciências também devem compreender sobre os processos de construção desse conhecimento, já que, assim, podem tomar decisões mais informadas e conscientes sobre questões que envolvam as ciências e suas relações com a sociedade<sup>3</sup>.

As reflexões advindas das áreas do conhecimento que se propõem a refletir sobre como o conhecimento científico é construído, e que envolvem, dentre outras disciplinas a História da Ciência, a Filosofia da Ciência e a Sociologia da Ciência (HFSC), oferecem subsídios valiosos para que esses processos possam ser elucidados, e assim, serem levados para as salas de aula. No campo da Educação em Ciências, essa discussão está organizada em torno da chamada Natureza da Ciência (NdC).

---

<sup>1</sup> Allchin, D. "Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science". *Science Studies and Science Education* 95 (2011): 518 – 542.

<sup>2</sup> Bayir, E.; Cakici, Y.; Ertas, O. "Exploring Natural and Social Scientists' Views of Nature of Science". *International Journal of Science Education* 36, n. 8 (2014):1286 –1312.

<sup>3</sup> Tala, S.; Vesterinen, V. "Nature of Science Contextualized: Studying Nature of Science with Scientists". *Science & Education* 24 (2015): 435 – 457.

A NdC se refere à epistemologia e à sociologia da ciência; à ciência como forma de conhecer; e aos valores e crenças inerentes ao conhecimento científico e ao seu desenvolvimento<sup>4</sup>. Pesquisadores que defendem a presença da NdC no currículo ressaltam que essa abordagem aprimora o aprendizado do conteúdo científico, gera interesse pela ciência e desenvolve a capacidade dos alunos de tomar decisões com base em evidências<sup>5,6</sup>. Nesse sentido, há um número crescente de pesquisas sobre as concepções de alunos e professores sobre a NdC<sup>7,8,9</sup>, proposições teóricas sobre currículos orientados por essa perspectiva<sup>10</sup>, bem como análises de visões de ciência e cientistas em livros didáticos de ciência<sup>11</sup>, todas com o objetivo central de melhorar a compreensão dos estudantes sobre a NdC.

Nesse contexto, uma questão emergente e significativa nas pesquisas sobre a NdC diz respeito às peculiaridades das diferentes ciências. Usualmente, as perspectivas de NdC apresentam uma imagem universalista da ciência, deixando de lado aspectos importantes do processo de geração de conhecimento peculiar à cada uma das disciplinas. Como bem ressaltava Hodson,

[...] existem diferenças significativas entre as subdisciplinas da ciência em termos do tipo de perguntas de pesquisa feitas, os métodos e tecnologias empregados para respondê-las, o tipo de evidência buscada, a extensão em que eles usam a experimentação, as maneiras pelas quais os dados são constituídos, os padrões pelos quais as investigações e conclusões são julgadas e os tipos de argumentos empregados. As especificidades da

---

<sup>4</sup> Lederman, N., et al. "Views of nature of science questionnaire: Towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of the nature of science". *Journal of Research in Science Teaching* 39 (2002):497-521.

<sup>5</sup> Abd-El-Khalick, F. "Examining the Sources for our Understandings about Science: Enduring confluences and critical issues in research on nature of science in science education". *International Journal of Science Education* 34, n. 3 (2012): 353 – 374.

<sup>6</sup> Wong, S. L.; Hodson, D. "From the horse's mouth: what scientists say about scientific investigation and scientific knowledge." *Science Studies and Science Education* 93 (2009): 109 – 130.

<sup>7</sup> Cortez, J. M.; Kiouranis, N. M. M. "Concepções de Natureza da Ciência de futuros Professores de Química: reflexões a partir de um Programa de Formação orientado para a História e Filosofia da Ciência". *Rev. electrón. invest. educ. cienc.* 14, n. 2 (2019): 45-63.

<sup>8</sup> Da Conceição Cruz, J. F.; Veras, D. S. "Natureza da ciência: análise das concepções dos licenciandos em ciências biológicas". *Acta Tecnológica* 12, n. 2 (2018): 47-60.

<sup>9</sup> Portugal, K. O.; Broietti, F. C. D. "Visões acerca da natureza da ciência de formandos em licenciatura em química". *ACTIO: Docência em ciências* 5, n. 1 (2020): 1-18.

<sup>10</sup> Moura, C.; Camel, T.; Guerra, A. "A natureza da ciência pelas lentes do currículo: normatividade curricular, contextualização e os sentidos de ensinar sobre ciências". *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências* 22 (2020): 1-27.

<sup>11</sup> Silva, E.C.; Aires, J. "A teoria celular em livros didáticos de biologia: uma análise sobre as concepções acerca da natureza da ciência". *Revista Insignare Scientia – RIS* 4, n. 3 (2021): 309-327.

racionalidade científica mudam entre as subdisciplinas, com cada subdisciplina jogando o jogo da ciência de acordo com suas próprias regras<sup>12</sup>.

Trabalhos recentes em história, filosofia e estudos cognitivos da ciência sugerem que pode haver muitos tipos de ciência. Embora certas características genéricas da ciência (como a atenção à precisão empírica, por exemplo) possam permear as disciplinas, diferentes áreas da ciência desenvolvem suas próprias normas e heurísticas epistêmicas. Os procedimentos de investigação em uma determinada subdisciplina da ciência correspondem a propósitos específicos da investigação. Recentemente, alguns pesquisadores estão começando a enfatizar a importância de uma abordagem específica de domínio mais contextualizada. Diversas pesquisas demonstram a importância de realizar pesquisas com cientistas praticantes, buscando desenvolver uma compreensão mais contextualizada sobre como o conhecimento é construído e avaliado em diferentes áreas da ciência<sup>13,14,15</sup>.

Em uma pesquisa realizada por Samarapungavan, Westby e Bodner<sup>16</sup>, os autores tiveram como objetivo oferecer uma descrição de como pesquisadores químicos e estudantes de química conceituam e avaliam seu trabalho. O estudo examinou se os químicos empregavam heurísticas epistêmicas específicas da disciplina e, também, a influência do aprendizado de pesquisa e do trabalho de laboratório no desenvolvimento epistêmico dos alunos em química. Segundo os autores, os resultados do estudo contrastam com os de pesquisas que sugerem que os cientistas podem ter entendimentos pouco sofisticados da NdC. As maneiras pelas quais os químicos pesquisadores pensaram sobre seu trabalho científico não correspondiam a certos conceitos de 'natureza da ciência', como aqueles que tentam estabelecer uma distinção entre 'teorias' e 'leis'. Os pesquisadores entrevistados não pareciam considerar suas próprias pesquisas como, de alguma forma, 'testando' as teorias fundamentais da química. De fato, eles relataram que, mesmo quando confrontados com problemas empíricos persistentes, que exigiam que eles arquivassem uma linha de investigação, eles não questionavam o corpo subjacente da teoria química. De modo geral, os autores concluem que pesquisas sobre a NdC que envolvam domínios específicos das ciências são importantes de serem realizadas, já que revelam traços peculiares de cada uma delas.

---

<sup>12</sup> Hodson, D. "Nature of Science in the Science Curriculum: Origin, Development, Implications and Shifting Emphases", in *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, (org.) Michael Matthews (Dordrecht: Springer, 2014): 911 – 970.

<sup>13</sup> Osborne, J. et al. "What "Ideas-about-Science" Should Be Taught in School Science? A Delphi Study of the Expert Community." *Journal of Research in Science Teaching* 40, n. 7 (2003): 692 – 720.

<sup>14</sup> Wong, S. L.; Hodson, D. "More from the horse's mouth: What scientists say about science as a social practice". *International Journal of Science Education* 32, n. 11 (2010): 1431-1463.

<sup>15</sup> Yucel, R. "Scientists' ontological and epistemological views about science from the perspective of critical realism." *Science & Education* 27, n. 5 (2018):407-433.

<sup>16</sup> Samarapungavan, A.; Westby, E.L.; Bodner, G.M. "Contextual Epistemic Development in Science: A Comparison of Chemistry Students and Research Chemists." *Science Education* 90 (2006): 468 – 495.

Se aspectos importantes dos processos de investigação científica variam de acordo com as disciplinas científicas, é importante que os estudantes sejam apresentados a essas nuances, para que possam, mesmo que minimamente, compreender sobre quais aspectos do mundo cada ciência trata, ou seja, os seus domínios de investigação. Concordamos com Hodson e Wong<sup>17</sup> quando ressaltam sobre a importância da investigação dos diferentes modos de se fazer ciência se o que se espera é uma Educação em ciências que possibilite uma compreensão mais rica e multifacetada sobre o empreendimento científico.

Assim, pensamos que uma abordagem importante nas pesquisas sobre a NdC seja aquela em que as perspectivas metateóricas sobre a ciência sejam permeadas pela voz dos cientistas, e também que as diferentes ciências sejam levadas em consideração, com as suas peculiaridades e especificidades, pois assim, é possível ampliar o escopo de abrangência das perspectivas que buscam compreender algo sobre a ciência e sobre os seus processos de produção.

É nesse sentido que, com este trabalho, procuramos compreender o conhecimento químico e seus processos de construção tendo como objeto de investigação um Programa de Pós-Graduação em química de uma universidade pública brasileira. Os dados foram constituídos por meio de entrevistas semiestruturadas realizadas com pesquisadores químicos desse programa, a saber, professores-pesquisadores-orientadores, nas quais buscamos caracterizar perspectivas sobre a Natureza da química. Assim, buscamos com este trabalho responder à seguinte questão de pesquisa: quais são os objetivos e métodos utilizados por pesquisadores de um Programa de Pós-Graduação em Química de uma universidade pública brasileira no estudo da natureza? Pensamos que, com este trabalho, temos condições de enriquecer as nossas próprias percepções sobre as atividades dos cientistas e, conseqüentemente, sobre a Natureza da Química.

## NATUREZA DA CIÊNCIA E A NATUREZA DA QUÍMICA

Existe amplo consenso sobre a importância da abordagem NdC para a Educação em ciências<sup>18</sup>. No entanto, assim como discutido por alguns pesquisadores da área, essa abordagem é insuficiente quando pensamos nas especificidades dos distintos domínios das disciplinas científicas<sup>19</sup>. Além disso, pesquisas

---

<sup>17</sup> Hodson, D.; Wong, S. L. "From the Horse's Mouth: Why scientists' views are crucial to nature of science understanding." *International Journal of Science Education* 36, n. 16 (2014): 2639 – 2665.

<sup>18</sup> Barbosa, F. T.; Aires, J. A. "A natureza da ciência e a formação de professores: um diálogo necessário." *ACTIO: Docência em Ciências* 3, n. 1 (2018): 115 – 130.

<sup>19</sup> Erduran, S.; Mugaloglu, E. Z. "Philosophy of Chemistry in Chemical Education: Recent Trends and Future Directions," in *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (org.) Michael Matthews (Dordrecht: Springer, 2014): 287-315.

recentes reforçam a importância da epistemologia química para a Educação em química<sup>20,21</sup>. Nessa seção, apresentaremos algumas questões pertinentes à epistemologia química, discutidas, majoritariamente, por filósofos da química, tendo como proposta contribuir com as discussões sobre a Natureza da Química (NdQ).

A NdQ, segundo Vesterinen, Aksela e Sundberg<sup>22</sup>, está contextualizada na área da NdC, e inclui as perspectivas filosóficas, históricas e sociológicas da prática química e a reflexão sobre os papéis que a química e o ensino de química desempenham na sociedade. Essa perspectiva tem como premissa o fato de que a Educação em química deve ser fundamentada pelos debates sobre a epistemologia química. Ou seja, se um dos objetivos da educação científica é que os estudantes possam avaliar criticamente as produções científicas, compreendendo seu escopo, possibilidades e limites, importa levar em consideração a NdQ quando nos referimos ao domínio do conhecimento químico. Isso porque a química apresenta peculiaridades em relação aos seus objetivos, métodos, valores e produtos, que a distingue, pelo menos parcialmente, das outras ciências.

Ao longo do século XX, as filosofias das ciências, especialmente aquelas de tradição anglo-saxã, praticamente ignoraram os problemas filosóficos da química<sup>23</sup>. Desde o positivismo lógico até Popper, Kuhn, Lakatos e Feyerabend, a física foi considerada como a ciência modelo para a filosofia das ciências. Muitas vezes, quando a história da química era abordada por alguns desses autores, ela era utilizada para corroborar algum modelo de evolução de ciência, sendo enquadrada em algum modelo teórico que tinha como pressuposto uma epistemologia advinda da física.

Um exemplo desse modo de ver o empreendimento científico foi aquele apresentado pelos membros do Círculo de Viena, no qual a definição da ciência foi caracterizada por uma preocupação com construções lógicas a partir de conceitos básicos, definidos por uma estrutura axiomática e por conexões dedutivas rigorosas entre certas categorias conceituais<sup>24</sup>. Essa orientação os levou a privilegiar o conhecimento das 'coisas mais fundamentais', e a preferir a física como um local privilegiado de 'primeiros princípios'. E isso, conseqüentemente, levou à hierarquização das estruturas conceituais para as ciências.

---

<sup>20</sup> Díaz, C. A.; Ariza, Y.; Adúriz-Bravo, A. "La "naturaleza de la química" en las líneas actuales de investigación sobre la enseñanza de la química." *Sociedad Colombiana de Ciencias Químicas* 1, n. 9 (2017): 47-50.

<sup>21</sup> Freire, M.; Amaral, E. M. R. "Perfil conceitual de química: uma ferramenta heurística para a análise de concepções sobre química." *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 20, n. 2 (2021): 217-244.

<sup>22</sup> Vesterinen, V. M.; Aksela, M. "A Novel Course of Chemistry as a Scientific Discipline: How Do Prospective Teachers Perceive Nature of Chemistry through Visits to Research Groups?" *Chemical Education Research and Practice* 10 (2009): 132-141.

<sup>23</sup> Labarca, M.; Bejarano, N.; Eichler, M. L. "Química e filosofia: rumo a uma frutífera colaboração." *Química Nova* 36, n. 8 (2013): 1256-1266.

<sup>24</sup> Thalos, M. "The lens of chemistry." *Science & Education* 22 (2013): 1707-1721.

Ribeiro<sup>25</sup> também é enfático ao afirmar que a epistemologia positivista, ao centrar-se na análise lógica e na predominância do conhecimento a priori e axiomático, deu pouca relevância à investigação da prática científica. Segundo o autor, muito foco foi dado à explicação e a justificação das teorias científicas, sem que a intervenção e o modo pelo qual os cientistas de fato agem, fosse suficientemente valorizada. Essa forma de análise da ciência levou à construção de uma imagem de ciência idealizada, e que tinha pouco a ver com a ciência 'real', pois foram deixadas de lado as práticas científicas, os instrumentos, o laboratório, os valores e o contexto da descoberta.

No entanto, a guinada epistemológica proposta dos historiadores, filósofos e sociólogos da ciência, especialmente a partir dos anos 1980 (a chamada *practical turn*), tornou o estudo das práticas, dos instrumentos e dos locais de produção de conhecimento o principal foco de investigação sobre como se dão os processos de produção do conhecimento<sup>26</sup>. Esses pesquisadores se propuseram a analisar a ciência levando em consideração aspectos intrínsecos ao fazer científico, utilizando para isso ferramentas conceituais oriundas da Sociologia, História e Antropologia, dentre outras áreas do conhecimento, abrindo caminho para olhar a ciência 'na prática'. Houve um aumento de interesse no estudo de casos históricos, sociológicos e antropológicos da ciência, visando fornecer argumentos a favor e contra a racionalidade do progresso científico. O interesse pelo lado experimental das ciências naturais também aumentou, favorecendo o surgimento de mais referências aos químicos.

Esse movimento possibilitou vislumbrar aspectos antes negligenciados sobre a prática dos químicos, como a sua relação com os instrumentos científicos, com a indústria e suas aplicações, e com o contexto político, econômico e social no qual se dá a constituição do conhecimento químico. Assim, como salientado por Schummer<sup>27</sup>, a química começou a se estabelecer como um território de investigação filosófica autônomo a partir de problemas legítimos e que não poderiam ser respondidos pela física, tais como aqueles ligados ao conceito de estrutura molecular, orbital molecular, ligação química e aos fundamentos da tabela periódica, questões que vêm ganhando cada vez maior relevância no interior da Filosofia da Química.

Como bem ressaltado por Labarca, Bejarano e Eichler<sup>28</sup>, surpreende o fato de que uma ciência que produziu ao longo de sua história milhões de substâncias de diversas classes, com uma vasta influência na vida cotidiana, que são formadas a partir de pouco mais de cem átomos, tenha sido ignorada pelos filósofos

---

<sup>25</sup> Ribeiro, M. A. P. "A emergência da Filosofia da Química como campo disciplinar." *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* 16, n. 2 (2016):215-236.

<sup>26</sup> Bensaude-Vincent, B. "The Chemists' Style of Thinking." *Ber. Wissenschaftsgesch* 32 (2009): 365–378.

<sup>27</sup> Schummer, J. "Coping with the Growth of Chemical Knowledge – Challenges for Chemistry Documentation, Education, and Working Chemists." *Educación Química* 10 (1999): 92-101.

<sup>28</sup> Labarca, M.; Bejarano, N.; Eichler, M. L. "Química e filosofia: rumo a uma frutífera colaboração." *Química Nova* 36, n. 8 (2013): 1256-1266.

da ciência. Esse é um ponto central do fazer químico que não é contemplado pela filosofia da ciência tradicional. Além disso, questões a respeito da ética profissional dos químicos, também merecem atenção, já que a síntese de moléculas traz em seu bojo um conjunto de questões morais, que dizem respeito às possíveis interações dessas moléculas com o meio no qual se encontram.

Nesse sentido, ao adotarmos a perspectiva de que as diferentes ciências lidam com distintos aspectos da realidade, podemos reconhecer que o problema do reducionismo entre as ciências não dá conta das especificidades da química, pois, se existem inúmeras maneiras de classificar os objetos científicos, não há motivos para esperar uma convergência das distintas perspectivas de investigação sobre o mundo natural em um único sistema, como aquele supostamente oferecido pela física teórica<sup>29</sup>. Partindo dessa perspectiva, podemos conceber o fato de que físicos, químicos e biólogos tratam seu objeto de estudo em diferentes níveis de complexidade, cada um ao seu modo.

Assim, não apenas o contexto da justificativa - no qual se procura justificar de maneira lógica e analítica por meio de quais critérios as explicações ganham sentido - se apresenta como sendo importante para a compreensão da prática dos químicos, mas também o contexto de descoberta, pois se reconhece que os químicos também trabalham com criações que dependem do contexto, principalmente nas sínteses químicas<sup>30</sup>. E nesse sentido, eles apresentam uma atitude valorativa em relação à aplicação daquilo que criam. Tal dimensão ética exige que as práticas químicas não possam estar dissociadas do contexto no qual se encontram<sup>31</sup>, já que a seleção de diferentes formas de investigação é fortemente influenciada pela motivação e pelos objetivos daqueles que fazem ciência.

Nesse sentido, levando-se em consideração o conhecimento químico, compreendemos que este se refere a uma forma peculiar de se conhecer a natureza e de se fazer ciência. Consideramos, assim, a química enquanto uma ciência que sempre esteve associada a processos produtivos e capilarizada em diversos setores da sociedade ao longo da história. Nesta pesquisa, buscamos mostrar como esses fatores se fazem presentes nas pesquisas realizadas em um Programa de Pós-Graduação em química. Por meio do olhar epistemológico sobre esse local de produção de conhecimento, pretendemos constituir elementos que nos possibilitem delinear algumas características da natureza da química, visando propósitos educacionais que permitam um melhor ensino e aprendizagem dessa ciência.

---

<sup>29</sup> Reinhardt, C. "Disciplines, Research Fields, and their Boundaries", in *Chemical Sciences in the 20th century: bridging boundaries* (org.) Carsten Reinhardt (Weinheim: WILEY-VCH, 2001): 1 - 13.

<sup>30</sup> Hoffmann, R. "What might philosophy of science look like if chemists built it?" *Synthese* 155 (2007): 321-336.

<sup>31</sup> Kovac, J. *The ethical chemist: professionalism and ethics in science*. Second Edition. (Oxford: Oxford University Press, 2018).

## METODOLOGIA

Esse estudo, que se constitui de um recorte de uma pesquisa mais ampla de doutorado, tem como objetivo investigar quais aspectos podem caracterizar os processos de construção do conhecimento químico em um Programa de Pós-Graduação em química de uma universidade pública brasileira. Trata-se de uma pesquisa descritiva com abordagem qualitativa, na qual procuramos realizar uma investigação empírica de fenômenos dentro de um contexto real e natural<sup>32</sup>.

Os dados foram constituídos a partir de entrevistas semiestruturadas realizadas com os professores-pesquisadores-orientadores do Programa investigado. Como critérios de seleção, optamos por selecionar aqueles que tinham ao menos 4 orientações de doutorado concluídas, e que atuassem há mais de 10 anos no Programa investigado. A partir desse levantamento, selecionamos uma amostra de 24 professores-pesquisadores-orientadores para a realização das entrevistas. Os convites foram enviados via correio eletrônico. Da seleção inicial da amostra de 24 professores-pesquisadores-orientadores, 9 aceitaram o convite, sendo que um dos convidados o recusou, e os outros 14 não responderam ao correio eletrônico.

Para a participação na pesquisa, os sujeitos foram informados sobre o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e após a concordância, assinaram o termo. Foram informados quanto à garantia do sigilo e ao anonimato dos participantes, assim como do direito de retirar seu consentimento a qualquer tempo sem qualquer prejuízo. Não houve nenhuma compensação financeira aos participantes.

Seguindo os parâmetros estabelecidos junto ao comitê de ética, foram enviados convites individuais para os professores-pesquisadores-orientadores, convidando-os a participarem da pesquisa de maneira presencial ou via plataforma digital. A data e horário da realização da entrevista foi definida segundo a adequação à agenda dos professores-pesquisadores-orientadores, sendo informado que essa teria duração máxima de uma hora. Para as entrevistas semiestruturadas, foram elaborados roteiros compostos por 4 (quatro) blocos temáticos: Bloco 1. Formação dos iniciados; Bloco 2. Problemas de pesquisa em química; Bloco 3. Relação da química com o contexto social e; Bloco 4. Epistemologia química. Neste trabalho, apresentaremos apenas os resultados da pesquisa referente ao Bloco 4. *Epistemologia química*.

O roteiro da entrevista semiestruturada referente ao Bloco 4 (vide anexo) e suas complementações buscaram apreender aspectos relacionados às percepções dos entrevistados sobre as peculiaridades do conhecimento químico e sobre como as pesquisas são conduzidas no Programa. As entrevistas foram realizadas entre os meses de fevereiro e julho de 2022. Cada uma delas teve duração média de 50 (cinquenta) minutos, foram gravadas e posteriormente transcritas para análise, com aviso e consentimento prévio dos participantes.

---

<sup>32</sup> Bogdan, R.; Biklen, S. *Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos* (Porto: Porto Editora, 1994).

Para a análise dos dados, utilizamos a Análise Textual Discursiva (ATD): “a análise textual discursiva corresponde a uma metodologia de análise de dados e informações de natureza qualitativa com a finalidade de produzir novas compreensões sobre fenômenos e discursos”<sup>33</sup>.

O processo de análise da ATD constitui-se em quatro etapas, a saber: I) Preparação das Informações; II) Unitarização ou transformação do conteúdo em Unidades; III) Categorização ou classificação das Unidades em categorias; IV) construção do Metatexto.

A Etapa I da ATD refere-se à Preparação das Informações. Nesta etapa, criamos um código para cada entrevistado, de modo a facilitar a localização do material das entrevistas que originou as Unidades de Contexto e de Significado. Utilizamos os códigos PPO1, PPO2...e assim, sucessivamente, para cada um dos Professores-pesquisadores-orientadores entrevistados. A partir da Preparação das Informações, pudemos iniciar a leitura na íntegra das entrevistas, buscando encontrar Unidades de Significado que nos permitissem iniciar a caracterização dos processos de construção do conhecimento químico.

A Etapa II do processo de análise da ATD é a Unitarização, ou seja, a divisão do corpus de análise em pequenos trechos ou Unidades de Significado. São as primeiras impressões que o pesquisador tem a respeito do fenômeno investigado. Para essa etapa, o código utilizado foi o mesmo daquele utilizado para os sujeitos, seguido da ordem sequencial da Unidade de Significado. O Quadro 2 exemplifica esse processo, no qual são apresentados o Código da Unidade de Significado, e a Unidade de Contexto e de Significado, que corresponde ao trecho que contextualiza a Unidade de Significado, a qual aparece em destaque<sup>34</sup>.

Quadro 1 – Processo de unitarização do corpus na ATD

| Código Unidade de Significado | Unidade de Contexto e de Significado  |
|-------------------------------|---|
| PPO1.29                       | Mas o químico vai lá e pega aquela molécula, e muda de lugar uma hidroxila, por exemplo, e <b>aquele medicamento se torna mais potente para combater o câncer. Aí, esse é o papel do químico.</b>   |
| PPO7.14                       | Qual a peculiaridade daquela molécula que causava aquela cura? E você poderia <b>potencializar aquela cura sintetizando uma molécula que pudesse ter um efeito um pouco mais...um pouco maior aquele efeito, talvez por aquela característica que você identifica naquela molécula.</b> |

Fonte: O autor (2023).

A Etapa III da ATD é a classificação em Categorias, isto é, um conjunto de categorias que possibilitam reunir por aproximações as Unidades de Significado. Assim, as entrevistas foram lidas buscando identificar Unidades de Significado que nos permitissem esta categorização. Devido ao volume de informações decorrentes do processo de constituição de dados, nas análises dos resultados foram apresentadas as Unidades de Contexto e de Significado mais representativas de cada uma das categorias

<sup>33</sup> Moraes, R.; Galiuzzi, M. C. *Análise Textual Discursiva* (Ijuí: Editora Unijuí, 2007): 7.

<sup>34</sup> PPO1.29 corresponde ao professor-pesquisador-orientador 1 e à Unidade de Significado 29; PPO7.14 corresponde ao professor-pesquisador-orientador 7, e à Unidade de Significado 14.

descritas na Etapa III, de modo a fornecer subsídios para que o leitor possa identificar a relação entre as categorias e as unidades de significado que as originaram.

A partir da identificação e análise das Unidades de Contexto e de Significado das entrevistas realizadas com os Professores-pesquisadores-orientadores, identificamos Categorias Emergentes. Essas categorias foram apresentadas e quantificadas, de acordo com a sua recorrência. O processo de categorização pode ser observado no Quadro 2, a seguir:

**Quadro 2 - Categorias Emergentes**

| Resumo perguntas   | Categorias Emergentes das respostas                      | Nº Unidades de Significado |
|--|--|----------------------------|
| Quais são os objetivos e métodos utilizados pelos químicos no estudo da natureza | Funcionalização da matéria a nível molecular             | 23                         |
|  | Valorização das evidências oferecidas pelos equipamentos | 22                         |

Fonte: O autor (2023)

A partir da análise das entrevistas semiestruturadas, consideramos ser possível argumentar que nas respostas aos questionamentos, identificamos duas Categorias Emergentes que nos dão indícios de algumas características dos processos de construção do conhecimento químico, associado aos objetivos e métodos utilizados pelos químicos no estudo da natureza. A próxima seção apresenta a IV Etapa da ATD, a construção do Metatexto, que se refere aos resultados obtidos a partir das análises das Categorias Emergentes.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS (METATEXTO)

Os resultados das entrevistas realizadas com os professores-pesquisadores-orientadores do Programa de Pós-graduação em química investigado mostram que uma das características marcantes da química é o ato de transformar os objetos químicos que, além de proporcionar novos conhecimentos sobre a estrutura da matéria e seu comportamento, também oferece novas possibilidades de interações materiais com os objetos químicos que constituem o meio social. Os químicos entrevistados destacaram que umas das peculiaridades do conhecimento químico se dá em relação ao nível de atuação/intervenção na matéria, cuja especificidade acontece a nível molecular. Essa peculiaridade dá aos químicos possibilidades de atuação muito diversas, que vão desde a produção de medicamentos mais potentes, à otimização de processos industriais, já que, ao atribuírem novas propriedades aos objetos químicos, podem, por meio de relações de transformações químicas estabelecidas com outros objetos químicos, cujas propriedades são conhecidas, obter efeitos que poderão ser benéficos para a sociedade. Em outras palavras, os químicos investigam os objetos químicos a fim de lhes atribuir novas propriedades, que poderão ser úteis para alguns

dos problemas encontrados na sociedade. Desse modo, uma das motivações enunciadas pelos sujeitos entrevistados para a realização das pesquisas é a possibilidade de que seus produtos tragam benefícios para a sociedade.

Na Categoria Emergente **Funcionalização da matéria a nível molecular**, utilizamos o termo funcionalização para denotar o processo pelo qual os objetos químicos passam a apresentar novas possibilidades de interação, por meio de novas propriedades relacionais que emergem na interação com outros objetos químicos. É a partir da funcionalização dos objetos químicos que as possibilidades de transformação da matéria podem ser multiplicadas. Durante as entrevistas, ao serem questionados sobre a peculiaridade da química, alguns professores-pesquisadores-orientadores abordaram justamente a possibilidade de transformação da matéria a fim de potencializar seus efeitos como uma peculiaridade do conhecimento químico, como mostram as unidades de significado de PPO1, PPO2 e PPO7:

Mas...aí entra a importância do químico. Justamente isso. O medicamento, mesmo. Você pega um medicamento natural, ele tem lá atividade pra câncer...vamos dar um exemplo. **Mas o químico vai lá e pega aquela molécula, e muda de lugar uma hidroxila, por exemplo, e aquele medicamento se torna mais potente para combater o câncer. Aí é esse o papel do químico.** Ele está contribuindo para isso. Ele está fazendo o papel dele (PPO1.29).

A gente está preocupado com a **matéria mesmo, a nível, ali, molecular. A nível molecular! Acho que nível atômico não...aí já são mais os físicos**, que estão preocupados em entender o nível atômico, as partículas atômicas ali (PPO1.21)

[...] e só entendendo o que está acontecendo a nível atômico-molecular que você consegue **interferir de uma forma a otimizar o sistema**, né? (PPO2.26)

Qual a peculiaridade daquela molécula que causava aquela cura? E você poderia **potencializar aquela cura sintetizando uma molécula que pudesse ter um efeito um pouco mais...um pouco maior aquele efeito**, talvez por aquela característica que você identifica naquela molécula (PPO7.14).

[...] você não tem como você criar um novo...**estudar um novo processo biológico, um novo fármaco lá na medicina, se você não entender o que está no cerne, né? A molécula que está envolvida, a reação química que está envolvida.** Então, como ela dita todos esses processos, né, numa escala bem menor, ou seja, ela estuda o átomo, estuda a matéria, ela está por trás de tudo, né? (PPO7.28)

Essas falas nos mostram que os químicos realizam transformações materiais buscando dar novas propriedades à matéria a nível molecular, que poderão, em algum momento, trazer algum benefício social.

Desse modo, são as transformações materiais que importam ao químico. O núcleo da teoria química são as dinâmicas e as estruturas da matéria em um nível molecular, sendo, por isso, uma ciência criativa, devido às possibilidades de sintetizar novos compostos e estruturas. Esse ponto é destacado por Sjöström<sup>35</sup>, que argumenta que essa capacidade de mudar o mundo material que faz com que a química seja considerada uma ciência útil, central para diversas áreas do conhecimento, que vão desde a medicina, farmácia e biotecnologia, até a ciência dos materiais e as engenharias.

Essa centralidade traz consequências significativas para as sociedades nas quais essa ciência se insere, tanto positivas quanto negativas. Considerando a utilidade da química para a sociedade, *os químicos ampliam o mundo natural o tempo todo*. Essa seria, portanto, uma das peculiaridades do conhecimento químico, conforme sugerem as unidades de significado de PPO2, PPO8 e PPO9:

[...] as reações químicas, basicamente, são indispensáveis para o desenvolvimento de **novos materiais, de novos produtos, de novos processos** (PPO2.19)

Então, eu acho que a gente tem uma...por isso que **a gente tem essa flexibilidade de desenvolver materiais que não existem na natureza** (PPO2.21)

A Química busca compreender a forma pela qual a matéria é formada. “Ah, legal... a Física também busca”. É verdade, mas a Química busca compreender como que a matéria se transforma. E isso é exclusivo nosso. Transformar a matéria é um dom...não é dom a palavra certa. É um...conhecimento que só é permitido aos químicos. Olha que coisa forte que é isso. **Quer dizer, hidrogênio e nitrogênio, você converter isso em amônia, que vai servir como fertilizante pra fazer com que mais gente consiga ter alimento, isso é químico que faz, ninguém mais, nenhuma outra área de conhecimento faz isso** (PPO8.08)

Então, assim, **se você tem coisas envolvendo Química para o mal, a própria Química pode ajudar, pra dar uma melhorada naquele malefício que a Química pode fazer** (PPO9.19)

---

<sup>35</sup> Sjöström, J. “The Discourse of Chemistry (and Beyond).” *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 13, n. 2 (2007): 83-97.

Muitas coisas de...que eram derivadas de algodão, ou de celulose, ou da borracha, que era obtida direto da seringueira...mas, obviamente, **esses materiais, não estavam suprimindo todas as necessidades que a gente precisava. Então, com isso, os polímeros sintéticos passaram a evoluir** (PPO9.21)

As respostas dos entrevistados aos questionamentos nos levam a concluir que o químico, ao analisar, purificar e sintetizar os objetos químicos, cria novas possibilidades de interações materiais que, em determinados casos, podem ser planejadas visando um determinado fim. Assim, é graças ao aumento do repositório de possibilidades materiais a que os químicos se propõem, é que determinadas ações materiais podem ser realizadas, sendo que essas ações podem trazer benefícios para a sociedade.

Ao utilizarmos o termo *funcionalização dos objetos químicos*, buscamos designar a maneira pela qual o conhecimento químico se expande, que, de acordo com Schummer<sup>36</sup>, acontece como uma rede, nas quais os pontos nodais representam os objetos químicos, e os fios, as relações estabelecidas entre eles. Essas relações são as transformações químicas, cujos efeitos podem ser avaliados em termos estritamente científicos (oferecer uma nova sintética), e/ou a partir dos resultados sociais que oferecem. Nessa perspectiva, um medicamento potencializado pelo químico representa um objeto químico com novas propriedades, que, quando em relação com outros objetos químicos (uma célula cancerígena, por exemplo), pode ter os seus efeitos avaliados por meio de parâmetros como eficiência e rendimento. A atuação do químico sobre a matéria a nível molecular faz com que as entidades existentes no mundo sejam vistas como objetos químicos, que podem interagir com outros objetos químicos a partir das propriedades que lhes são atribuídas.

Dentro dessa perspectiva, podemos conceber o conhecimento químico como uma rede, com pontos nodais e fios, que representam, respectivamente, os objetos químicos e suas possibilidades de interação. Assim, aumentando-se a funcionalização dos objetos químicos (atribuindo-lhes novas propriedades), aumentam-se os fios e, conseqüentemente, a rede torna-se cada vez mais densa. Um novo ponto nodal é inserido na teia quando uma nova classe de compostos é criada. Essa nova classe de compostos estabelece relações com outras classes de compostos, por meio das relações estabelecidas nos fios. O químico busca aumentar essa rede, já que, por meio das funcionalizações pode atribuir novos significados aos objetos químicos, que poderão, em algum momento, serem úteis à sociedade.

Sobre esse ponto, Schummer<sup>37</sup> argumenta que os químicos caracterizam cada nova substância através de várias propriedades materiais. Assim, com cada nova substância, o conhecimento químico é

---

<sup>36</sup> Schummer, J. "The chemical core of chemistry I: a conceptual approach." *Hyle – International journal for philosophy of chemistry* 4 (1998): 129-162.

<sup>37</sup> Schummer, J. "Coping with the Growth of Chemical Knowledge – Challenges for Chemistry Documentation, Education, and Working Chemists." *Educación Química* 10 (1999): 92-101.

ampliado por uma certa quantidade de informação. Como consequência, há um crescimento cumulativo do conhecimento químico junto com a produção e caracterização de novas substâncias. Uma vez que cada nova substância é caracterizada por algumas propriedades materiais básicas, o crescimento exponencial de substâncias acompanha o crescimento exponencial do conhecimento químico.

Uma vez que a novidade de uma nova substância é evidente, os químicos enfatizam o fato de que a nova substância é um exemplar de uma nova classe de substâncias<sup>38</sup>. Assim, a extensão e enriquecimento da classificação de substâncias químicas parece ser um objetivo científico aceito em química. Em sua descrição sobre como acontecem as pesquisas em química, PPO2 relatou que, em uma investigação sobre um mineral encontrado no Japão, teria criado uma nova classe de materiais, contrapondo-se a outros pesquisadores defendiam que o mineral investigado pertencia a uma determinada classe, como sugere a unidade de significado de PPO2:

Eu tentei achar na literatura alguma coisa que conseguisse explicar os meus resultados, de alguma forma. E procurei durante meses, e não achei muita coisa... achei alguns artigos que diziam que era, eventualmente, alguma contaminação, etc e tal, mas, encontrando esse mineral, eu falei “então, bom, nós vamos reproduzir esse mineral...vamos reproduzir a síntese desse mineral”. É um mineral que foi descoberto no Japão, chamado shigaita, de uma cidade chamada Shiga, e aí nós reproduzimos a composição química desse mineral, e aí eu comparei todos os outros...quer dizer, eram homólogos a esse mineral. Fiz referência ao mineral, e, a partir daí, a gente acreditou que essa composição química era essa mesma. E agora já está sendo citado, esse artigo...bastante citado, **dizendo que a gente realmente desenvolveu uma classe de materiais diferenciado. Mas, obviamente que isso tudo demandou busca de literatura e demandou conhecimento de todos os outros 30 mil artigos que falavam que o material era simplesmente um trocador aniônico...era até SINÔNIMO de trocador aniônico...obviamente eu não li os 30 mil, mas a grande maioria eu li, e eu venho lendo ao longo do tempo, né...eu faço revisão de literatura periodicamente. E aí, a partir desse momento, eu resolvi bancar essa história, né...** (PPO2.18).

Cada nova síntese faz com que a estrutura desse composto passe a fazer parte de um sistema classificatório pré-existente. Com base nisso, Schummer<sup>39</sup> propôs que é precisamente a extensão contínua da rede de relações de conversibilidade entre substâncias que forma o núcleo do conhecimento químico. Nesse modelo, qualquer substância, identificada por sua fórmula estrutural, representa um nó dentro da

---

<sup>38</sup> Ibid.

<sup>39</sup> Schummer, J. “The chemical core of chemistry I: a conceptual approach.” *Hyle – International journal for philosophy of chemistry* 4 (1998): 129-162.

'rede química', e as conexões entre esses nós são codificadas por protocolos validados experimentalmente. É esse modelo de construção de conhecimento que possibilita o avanço do conhecimento químico.

Como consequência desse processo, Tontini<sup>40</sup> aponta que, ao preparar e analisar tantas moléculas, cuja complexidade arquitetônica é crescente, a química mostra que a matéria pode ser submetida a um grande número de transformações, em um processo que parece ter infinitas possibilidades. Ou seja, os químicos nos mostram que a matéria tem uma diversidade estrutural potencialmente infinita. Desse modo, em seu sentido mais fundamental, a química é a ciência das substâncias, ou seja, aquele território da ciência que lida com as transformações das substâncias materiais, seja induzido artificialmente ou ocorrendo espontaneamente.

Schummer<sup>41</sup> ao analisar os objetivos pelos quais as pesquisas em química são realizadas, relata que embora a pesquisa aplicada seja de importância considerável e crescente em química, não é de forma alguma o primeiro objetivo. Em vez disso, a grande maioria da pesquisa sintética é realizada para melhorar as habilidades sintéticas da própria química. Em sua pesquisa, o autor relata que quase metade da produção de novas substâncias é para melhorar a capacidade de produzir mais novas substâncias. Ou seja, produzir novas substâncias é na verdade um fim em si mesmo, e extremamente bem-sucedido, como demonstra o crescimento exponencial de substâncias.

No entanto, Schummer<sup>42</sup> argumenta que novas substâncias não são necessariamente novas teorias. Com cada nova substância, o conhecimento químico é ampliado por uma certa quantidade de informação. E, nesse sentido, o autor argumenta que parece difícil imaginar como esse tipo de conhecimento poderia ser afetado por uma mudança de teorias, já que o conhecimento de como produzir a nova substância parece ser resistente a qualquer mudança de teoria. Como consequência, há um crescimento cumulativo do conhecimento químico ao lado da produção e caracterização de novas substâncias.

Esse é um ponto sobre o qual a filosofia da ciência tradicional não deu muita atenção. Ou seja, o foco principal da síntese de novas substâncias não é testar ou modificar algum de teoria ou lei, embora isso aconteça. Mas, como vimos, o objetivo é a fabricação de novas substâncias. Desse modo, as concepções sobre ciência que versam sobre falsificação, verificação e comprovação de teorias não são muito significativas na química.

---

<sup>40</sup> Tontini, A. "On the Limits of Chemical Knowledge." *HYLE--International Journal for Philosophy of Chemistry* 10, n.1 (2004): 23-46.

<sup>41</sup> Schummer, J. "Why Do Chemists Perform Experiments?," in *Chemistry in the Philosophical Meldting Pot*: (eds) Danuta Sobczykńska, D.; Zeidler, P.; Zielonacka-Lis, E. (Frankfurt am Main, Peter Lang, 2004): 395-410.

<sup>42</sup> Schummer, J. "Coping with the Growth of Chemical Knowledge – Challenges for Chemistry Documentation, Education, and Working Chemists." *Educación Química* 10 (1999): 92-101.

Assim como Samarapungavan, Westby e Bodner<sup>43</sup>, alguns químicos em nossa pesquisa também enquadraram seu trabalho científico em termos de uma linguagem de design ou engenharia, e não apenas como uma atividade de desenvolvimento e/ou testes de teorias. Por exemplo, alguns dos sujeitos entrevistados falaram sobre tentar construir ou sintetizar moléculas em termos de planejamento, como sugerem as unidades de significado de PPO3 e PPO8:

Mas eu acho que a química é central, porque ela **trabalha com esse tipo de planejamento, sabe? De você conseguir arrumar a matéria, ou seja, trabalhar a matéria de uma forma tão específica e tão certa, digamos assim, em alguns casos, pra você conseguir sintetizar coisas e trabalhar** (PPO3.15).

**Quando você sintetiza um fármaco. Ele não é natural. Mas ele foi sintetizado baseando-se em uma molécula natural que faz um determinado papel no corpo humano, entendeu?** Então, o químico, sim, ele estuda a natureza! Ele estuda, modifica, e tenta, de alguma forma, até mimetizar a natureza, né?! (PPO3.16).

A gente vê como algumas moléculas naturais conseguem fazer isso, só que é difícil a gente utilizar aquela molécula natural, então **a gente sintetiza algo parecido que consiga reproduzir características, e a gente consegue otimizar um processo sintético** (PPO7.16).

Então, tenho preocupação **em preparar materiais, por exemplo, que possam ser usados em baterias que trabalham em água, ao invés de solventes derivados de petróleo; em materiais pra ser usado em fotovoltaico, que é pra pegar energia direto do sol pra produção de energia limpa** (PPO8.04)

Assim, uma das principais atividades dos químicos é, como vimos acima, a fabricação de novas substâncias, ou seja, mudar e ampliar nosso mundo. Nesse sentido, parece não haver nenhuma razão para supormos que o conjunto de substâncias possíveis seja limitado. Sobre esse ponto, Schummer argumenta sobre como se dá o aumento do conhecimento químico:

Se as propriedades químicas nos dizem algo sobre a reatividade de duas ou mais substâncias para formar outras substâncias, o número de propriedades químicas possíveis depende do número de combinações de substâncias já existentes. Quanto mais

---

<sup>43</sup> Samarapungavan, A.; Westby, E.L.; Bodner, G.M. "Contextual Epistemic Development in Science: A Comparison of Chemistry Students and Research Chemists." *Science Education* 90 (2006): 468 – 495.

substâncias tivermos, maior será o número de combinações de substâncias para possíveis reações. Se nosso mundo consiste de  $n$  substâncias, então a produção de uma única nova substância permite considerar  $n$  novas combinações de pares de substâncias, ou seja,  $n$  novos pares de reações possíveis. Se considerarmos também as reações triplas, quádruplas, etc., bem como variações de concentrações e outras condições de reação, o número de novas propriedades químicas possíveis cresce imensamente.<sup>44</sup>

Conclui-se, assim, que os químicos estão mudando permanentemente o mundo, sendo que uma das características marcantes dessa ciência é que seu desenvolvimento não consiste apenas em novas explicações, teorias e refinamentos das suas metodologias, mas também na fabricação de novos materiais. E, nesse sentido, na discussão geral sobre a epistemologia química, Van Brakel<sup>45</sup> sugere que a química apresenta um posicionamento mais próximo do realismo do que outras ciências, porque ela está produzindo novas substâncias que, muitas vezes, se inserem nas dinâmicas materiais que acontecem ao nosso redor.

Desse modo, um caráter distintivo da química é que ela desenvolve uma compreensão do mundo mudando o mundo, e não apenas descrevendo o mundo como ele é. Como essas mudanças criam novos objetos químicos, esse processo faz com que a complexidade do mundo material aumente, tornando, assim, sua descrição completa cada vez mais difícil.

Na categoria **Valorização das evidências oferecidas pelos equipamentos**, identificamos um aspecto da natureza tecnocientífica da química, que se refere ao papel epistemológico e cognitivo da instrumentação nessa ciência. As respostas dos professores-pesquisadores-orientadores entrevistados aos questionamentos sobre a relação do conhecimento químico com os equipamentos dão ênfase a necessidade desses componentes para a realização das pesquisas.

As unidades de significado ressaltam que, além dos interesses de pesquisa propriamente científicos, a química também possui um núcleo laboratorial que é tecnológico, o que pode ser reconhecido nos equipamentos utilizados diariamente pelos químicos para a realização das pesquisas. Desse modo, a tecnologia impulsiona a prática científica, sendo que a maneira pela qual as pesquisas em química são conduzidas são dependentes do desenvolvimento tecnológico dos equipamentos, como sugerem as unidades de significado de PPO3, PPO6 e PPO7:

Você pode tentar adivinhar o que acontece, mas o experimento, o que ele te dá...é justamente aquela questão da natureza que eu te falei. **Se você não tiver alguma**

<sup>44</sup> Schummer, J. "Coping with the Growth of Chemical Knowledge – Challenges for Chemistry Documentation, Education, and Working Chemists." *Educación Química* 10 (1999): 92-101.

<sup>45</sup> Van Brakel, J. "Philosophy of Science and Philosophy of Chemistry." *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 20 (2014): 11-57.

**comprovação pra suportar a sua teoria, pra suportar a tua reação, não serve pra nada. Então os equipamentos estão aí justamente pra isso, né? Os equipamentos estão aí pra que a gente consiga realmente falar o que todas as ideias que nós temos...se elas são de fato aplicáveis e que são corretas, ou não!** (PPO3.18)

É...então, eu acho que **o desenvolvimento de novas ferramentas, de instrumentos, está intimamente ligado ao avanço do conhecimento** (PPO6.12).

Coisa que a gente não tinha antes, [o uso do equipamento] elucida muito mais. Então, **a gente vai aprimorando, não necessariamente só novos conhecimentos, mas talvez formas bem mais avançadas, ou novos conhecimentos também** (PPO7.06).

Você pode não conseguir chegar a uma conclusão final agora, **com as técnicas que você tem...você pode deixar num impasse, mas daqui a pouco vai ser resolvido** (PPO7.11).

E aí, a gente consegue avançar mais nisso de acordo com o avanço das técnicas. **Então, talvez a gente consiga, talvez algumas coisas que antes não estavam respondidas, porque agora a gente tem uma técnica nova, um equipamento novo** (PPO7.17).

O aumento exponencial do conhecimento químico vem, principalmente, de mudanças na instrumentação química e nos aspectos do mundo que podem ser explorados pelos químicos. Essa expansão é mediada pelo uso de equipamentos, que são um componente essencial do processo de produção de conhecimento químico. É a partir deles que o químico pode testar suas hipóteses, constituir novos fatos científicos, e atribuir ordem no caos inicial das observações. Desse modo, os equipamentos são um elemento constituinte do processo de produção de conhecimento químico.

Contemporaneamente, o fazer científico está cada vez mais associado à complexificação dos instrumentos utilizados pelos pesquisadores, sendo que é cada vez mais difícil distinguir entre os fenômenos e os métodos utilizados para produzi-los. Essa é uma das ideias centrais desenvolvidas, a partir da década de 1970, pelos estudos sociais e culturais da ciência, segundo a qual os fenômenos observados pela ciência moderna são 'tecnofenômenos' apreendidos e representados através das tecnologias e práticas dos pesquisadores<sup>46</sup>. Novos equipamentos e dispositivos químicos permitem aos químicos ampliar suas capacidades de síntese, examinando e modificando o tamanho e a distribuição das partículas, a estrutura

---

<sup>46</sup> Rothbart, D. "On the relationship between instrument and specimen in chemical research." *Foundations of Chemistry* 1, n. 3 (1999): 257 - 270.

cristalina, a composição química, a área superficial, as interfaces, etc.<sup>47</sup> Todos esses avanços dependem dos equipamentos e dispositivos envolvidos.

Como sugere Vesterinen<sup>48</sup>, 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, já que as inovações tecnológicas não são apenas produtos da ciência – têm também uma enorme influência nos processos da ciência.

Baird<sup>49</sup> (1993) ressalta que a forma pela qual o conhecimento químico é constituído passou por uma transformação na década de 1950, a chamada 'revolução instrumental', e envolveu mudanças na prática da química analítica, compreendendo mudanças nos limites de análises possíveis. Segundo Baird<sup>50</sup>, 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. A partir da 'revolução instrumental', 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"<sup>51</sup>. Todas essas transformações também estiveram associadas a um novo nível de gastos de capital necessários para fazer química analítica, como mostram as unidades de significado de PPO4:

[...] os equipamentos, **eles têm que ser cada vez mais sofisticados**, de modo que nós determinemos, então, concentrações muito baixas (PPO4.20).

Então, eu diria, assim, que do meu ponto de vista...meio que, infelizmente, **a gente fica bem refém de instrumentos avançados** (PPO4.23).

<sup>47</sup> Llored, J.P.; Sarrade, S. "Connecting the philosophy of chemistry, green chemistry, and moral philosophy." *Foundations of Chemistry* 18 (2016): 125–152.

<sup>48</sup> Vesterinen, V.M. "Nature of science and chemistry education." *LUMAT-B: International Journal on Math, Science and Technology Education* 1, n. 3 (2016): 1-6.

<sup>49</sup> Baird, D. "Analytical chemistry and the 'big' scientific instrumentation revolution". *Annals of Science* 50, n. 3 (1993): 267-290.

<sup>50</sup> Ibid.

<sup>51</sup> Ibid, p. 283.

E aí, o parecerista pega e fala “mas isso não se usa mais. O que tem que se usar é um espectrômetro acoplado a um sistema de espectrometria de massa, na verdade, né? E não esse daqui”. “Tá, mas eu não tenho um sistema desse, né?”. **Então, eu tenho, assim... inúmeros exemplos dos equipamentos...eles têm um papel crucial nos trabalhos que eu faço, né? E infelizmente a gente acaba, muitas vezes, ficando meio manco, né, por causa disso...tem essas dificuldades (PPO4.24).**

Mas, por exemplo, tem situações que uma pessoa fala “você precisa de um espectrômetro de massa acoplado a um ICT”, você fala “**ah, tá, onde eu vou arrumar 1 milhão de dólares pra comprar um equipamento desse, né?** Se nem projeto de pesquisa eu consigo ter” (PPO4.25).

[...] **ah, esse trabalho não tem importância, porque a concentração (standard) está muito alta e, do ponto de vista ambiental, isso daqui não ajuda em nada (PPO4.23)**

Diante do exposto, parece-nos que a questão dos equipamentos tem uma grande influência nas pesquisas conduzidas em química, como, por exemplo, no grau de precisão necessário para a publicação dos resultados de pesquisa em uma revista científica, que, como exposto por PPO4, dependem do equipamento utilizado.

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. Para a filósofa da química Bensaude-Vincent<sup>52</sup>, ‘realismo operacional’ seria, portanto, a forma de se caracterizar a filosofia dos químicos. Assim, graças ao uso dos equipamentos, e às possibilidades de manipulação material que eles oferecem, é que, podemos atribuir aos químicos uma visão epistemológica realista do seu objeto de estudo.

Como a caracterização de um objeto químico depende dos resultados obtidos com as análises realizadas pelos equipamentos, a convergência dos resultados é um argumento quase irrefutável para que a descrição dos objetos químicos reflita a sua ‘real existência’, ou, em termos filosóficos, a sua ontologia, aquilo que o objeto químico é. Essa questão é destacada nas unidades de significado de PPO2, PPO3, PPO7 e PPO8:

Porque, hoje em dia, **a gente tem coisas que a gente consegue enxergar...um átomo, a gente consegue enxergar reações químicas (PPO7.05).**

---

<sup>52</sup> Bensaude-Vincent, B. “The Chemists’ Style of Thinking.” *Ber. Wissenschaftsgesch* 32 (2009): 365–378.

A gente está vendo! Quando eu estava na minha graduação, a única máxima, a única verdade que a gente sabia era a seguinte: jamais vai se ver o átomo! Poxa, **hoje você vê átomo quase que um...você brinca de ver o átomo! Entende? Então, com isso, você vê ligação! Hoje você tem imagem de ligação química.** Então, já tá...já mudou! (PPO8.17).

É nessa perspectiva de realismo operativo, que Ruthenberg<sup>53</sup> nos chama a atenção para o fato de que, na química, parece haver uma prioridade do realismo da entidade sobre o realismo da teoria: “muito antes de uma representação teórica apropriada ser desenvolvida, os químicos denotavam seus objetos científicos como entidades reais”<sup>54</sup>.

Assim, os instrumentos não abrangem apenas um papel metodológico na química, mas tem também um papel epistemológico e cognitivo. O real para o químico é aquilo que pode ser definido pelo instrumento. Essa relação com o aparato instrumental reforçou a visão de Bachelard<sup>55</sup> de que em química não há acesso direto à natureza, nem conhecimento da natureza sem a mediação de técnicas instrumentais. O autor argumenta que, em química, todas as substâncias puras e simples são resultado de uma fenomenotécnica: uma vez analisados, purificados e caracterizados, os produtos químicos são produtos híbridos de natureza, instrumentos e operações.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, tivemos como objetivo investigar os objetivos e métodos utilizados por pesquisadores em química em um Programa de Pós-Graduação em Química de uma universidade pública brasileira no estudo da natureza. Como resultado, pudemos identificar duas Categorias Emergentes que caracterizam, ao menos em parte, esses processos: **Funcionalização da matéria a nível molecular** e **Valorização das evidências oferecidas pelos equipamentos**. Essas categorias mostram a importância de se realizar pesquisas acerca do estatuto epistemológico do conhecimento químico para compreensões mais elaboradas sobre a Natureza da Química.

Um ponto que nos chama a atenção nas respostas aos questionamentos é a concepção de ciência apresentada pelos professores-pesquisadores orientadores, que é próxima àquela que surge com a ciência moderna, a qual apresenta como pressuposto a ideia de que a ciência sempre iria gerar constantes

---

<sup>53</sup> Ruthenberg, K. “Radicals, reactions, realism”, in *Philosophy of Chemistry: growth of a new discipline* (org) Eric Scerri; Lee McIntyre (Dordrecht: Springer, 2015): 183 – 199.

<sup>54</sup> Ibid, p. 194

<sup>55</sup> Bachelard, G. *O Pluralismo Coerente da Química Moderna* (Rio de Janeiro: Contraponto, 2009).

progressos e melhorias para a sociedade<sup>56</sup>. Assim, os pesquisadores entrevistados apresentam uma visão positiva do papel da química no desenvolvimento da sociedade. Nessa perspectiva, a abordagem é que os problemas causados pela ciência na sociedade só podem ser resolvidos por mais ciência. Os valores básicos da química estão ligados aos seus objetivos e metas. Entretanto, os resultados nos mostram que estes raramente são discutidos a partir de uma perspectiva social mais ampla.

Essa concepção de ciência parte de um ideal científico historicamente legitimado, de uma tradição científica positivista, que se baseia na ideia de que é possível obter verdades completamente objetivas. Essa atitude em relação à ciência pode ser vista como parte daquilo que se constitui enquanto identidade dos profissionais dessa disciplina. As atividades de pesquisa e ensino não são vistas como parte de um contexto social e cultural, sendo que não pudemos constatar nas respostas a realização de reflexões mais amplas sobre a própria produção de conhecimento e sua relação com os valores subjacentes aos seus aspectos constituintes. O que pudemos observar foi uma perspectiva de que a mudança científico-tecnológica causa linearmente uma mudança social, e de que a ciência e tecnologia são autônomas, operando em um contexto de neutralidade, sendo assim independente das influências sociais. Essa perspectiva salvacionista da ciência e tecnologia está atrelada ao modelo tradicional linear de progresso, na qual os produtos da ciência são criados para solucionar os problemas da humanidade, levando linearmente ao bem-estar social<sup>57</sup>.

Diante desse contexto, questões como: *quais são os objetivos, valores e métodos utilizados pelos químicos quando fazem química? Quais aspectos do mundo são investigados pelos químicos que os distinguem de pesquisadores de outras áreas do conhecimento? Quais tipos de problemas eles buscam investigar?* são todas muito importantes, se o que pretendemos, enquanto professores de química, é que os alunos desenvolvam reflexões sobre o que a ciência química produz e se esta produção sempre será positiva para a sociedade, além dos conceitos químicos que tornam essas reflexões possíveis e relevantes.

Essas questões também nos mostram a importância de se compreender a construção do conhecimento vinculada ao contexto no qual é desenvolvida. Ao levarmos em consideração as peculiaridades relativas aos processos de produção de conhecimento das diferentes ciências, podemos compreender como fatores externos ao fazer científico podem direcionar o desenvolvimento das pesquisas. Nesse sentido, parece-nos importante que perspectivas de tomada de decisões exclusivamente tecnocráticas - ou seja, aquelas nas quais apenas o cientista altamente capacitado é capaz de trazer soluções para os problemas sociais -, sejam superadas, e que possamos, enquanto sociedade, participar de decisões que envolvam o conhecimento científico, em especial o conhecimento químico, de maneira mais democrática.

---

<sup>56</sup> Sjöstrom, J. "The Discourse of Chemistry (and Beyond)". *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 13, n. 2 (2007): 83-97.

<sup>57</sup> Rosa, S.E.; Strieder, R. B. "Educação CTS e a não neutralidade da ciência-tecnologia: um olhar para práticas educativas centradas na questão energética". *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia* 11, n. 3 (2018): 98-123.

Isso pode ser realizado por meio de uma defesa do redimensionamento das agendas de pesquisa, que devem prezar e ser coerente com as demandas sociais vivenciadas pela população de uma determinada região<sup>58</sup>. Essa perspectiva rompe com visões idealizadas de ciência que a compreendem apenas em termos de seus desenvolvimentos teóricos.

Além disso, com esse estudo, pudemos mostrar que as descrições dos cientistas sobre suas pesquisas e suas práticas cotidianas dentro da comunidade científica fornecem uma visão da ciência que pode ser comparada e contrastada com visões sobre a NdC, fornecendo evidências empíricas sobre como o conhecimento químico se desenvolve e as relação entre ciência e tecnologia. Sobre essa relação, os pesquisadores entrevistados parecem apresentar uma visão de determinismo tecnológico, baseada na suposição de que as tecnologias teriam uma lógica funcional autônoma que poderia ser explicada sem se fazer referência à sociedade. Dentro dessa perspectiva, considera-se que o desenvolvimento tecnológico seria o motor para o progresso e para a mudança nas estruturas sociais. A tecnologia seguiria um percurso particular, de acordo com as suas próprias leis, desenvolvendo-se de modo alheio ao contexto social, por meio de uma dinâmica própria<sup>59</sup>. Nessa lógica, como a fonte principal das mudanças sociais se caracterizaria pelo desenvolvimento de tecnologias, as intervenções sociais, políticas, institucionais e culturais não teriam nenhum efeito sobre desenvolvimento tecnológico, uma visão sobre a qual discordamos, já que a neutralidade científico-tecnológica se constitui enquanto um mito.

Tomando como base esses resultados, parece-nos importante que os estudantes de química compreendam que as forças sociais e culturais também determinam a mudança tecnocientífica, já que essas sempre acontecem dentro de um contexto cultural mais amplo, e que os resultados oferecidos pelos equipamentos não são neutros, mas objetivados a partir de certas intencionalidades e valores. Assim, um ponto importante a ser desenvolvido na Educação em química é que os estudantes compreendam o fato de que a tecnologia é uma construção social, e que o ambiente social influencia a maneira como um artefato tecnológico é desenvolvido. Só assim, uma participação mais efetiva da população em questões de ciência e tecnologia se torna possível.

Como conclusão, ressaltamos que nossos resultados sugerem que não existe um conjunto único de elementos da NdC adequados a todas as disciplinas e contextos. Se um dos objetivos da abordagem NdC é aumentar a alfabetização científica e a capacidade dos cidadãos de tomar decisões informadas sobre questões científicas, parece-nos que essas devem ser baseada em algum entendimento contextualizado sobre como o conhecimento é construído e avaliado em diferentes áreas da ciência. Assim, pensamos que, ao trazermos uma compreensão, mesmo que parcial, sobre a epistemologia química e sobre a Natureza da

---

<sup>58</sup> Dagnino, R. "A relação universidade-empresa no Brasil e o argumento da hélice tríplice". *Revista Brasileira de Inovação* 2, n. 2 (2003): 267-307.

<sup>59</sup> Dagnino, R. *Neutralidade da ciência e determinismo tecnológico* (Campinas: Unicamp, 2008).

Química, podemos auxiliar os professores de química a conceber contextos mais autênticos para o ensino e aprendizagem desta ciência nas escolas.

**SOBRE OS AUTORES:**

Flávio Tajima Barbosa

[tajima.barbosa@gmail.com](mailto:tajima.barbosa@gmail.com)

Joanez A. Aires

[joanez.ufpr@gmail.com](mailto:joanez.ufpr@gmail.com)

**ANEXO**

ROTEIRO DA ENTREVISTA - Professores-pesquisadores-orientadores

Epistemologia química

- Qual ou quais as peculiaridades do conhecimento químico em relação às outras ciências, tal como a Física, Biologia ou mesmo as engenharias?
- Levando-se em consideração que a Química é classificada como uma das Ciências Naturais, o que seria, para você, este estudo da natureza?
- Sobre a seguinte afirmação: “Cerca de 95% de todos os objetos químicos produzidos pelos químicos são artificiais, ou seja, não existem correlatos na natureza”. Qual seria, para você, o papel do químico nesta ‘constituição’ do mundo?
- Você pensa que as entidades teóricas definidas pela química têm existência real ou são formas de representação?
- Qual o papel dos instrumentos (equipamentos) no desenvolvimento de uma pesquisa? Como eles determinam/delimitam o que pode ser conhecido?