



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA
INSTITUTO DE QUÍMICA
INSTITUTO DE BIOCÍENCIAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO



EVANDRO FORTES ROZENTALSKI



**Indo além da Natureza da Ciência:
o filosofar sobre a Química por meio
da ética química**

·FEUSP



**São Paulo
2018**

EVANDRO FORTES ROZENTALSKI

**Indo além da Natureza da Ciência:
o filosofar sobre a Química por meio da ética
química**

Tese apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo para obter o título de Doutor em Ensino de Ciências.

Versão original da tese.

Área de Concentração: Ensino de Química

Orientador: Prof. Dr. Paulo Alves Porto

**São Paulo
2018**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e de pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Rozentalski, Evandro Fortes

Indo além da natureza da ciência: o filosofar sobre a química por meio da ética química. São Paulo, 2018.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Alves Porto
Área de Concentração: Ensino de Química

Unitermos: 1. Química – Estudo e ensino; 2. Filosofia da ciência; 3. Ética profissional; 4. Ensino superior.

USP/IF/SBI-012/2018

*À minha família, Jorge, Leduvina e Vanessa,
respectivamente, pai, mãe e irmã,
pilares humanos que
construíram, mantêm e guiam o meu ser.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, meus sinceros agradecimentos ao meu orientador Prof. Paulo Porto. Nossa história começou no dia 15 de agosto de 2010, quando enviei o *e-mail* com o título “Apresentação para uma possível orientação no Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências”. Na ocasião, estava prestando o processo seletivo para o mestrado do referido programa. Era um período de inúmeros receios, dúvidas e incertezas sobre o futuro, como, por exemplo, encontrar um orientador, pois não conhecia absolutamente nenhum professor da Universidade de São Paulo (USP). Lembro que seu nome e e-mail chegou por sugestão de um amigo, Julio Rocha. Chamou-lhe a atenção, sabendo do meu interesse em estudar História da Química, a descrição de um professor que trabalhava com tal disciplina, veiculada por uma página da internet da instituição. Desde o primeiro contato via e-mail até os dias de hoje, mostrou-se extremamente cordial e aberto ao diálogo. Aliás, como costume dizer aos demais colegas do grupo de pesquisa, ele é um “artesão das palavras”. Suas palavras são escolhidas com perícia, sempre respeitando o outro, independentemente de sua posição social, econômica, cultural, acadêmica, etc. No âmbito da pesquisa, sempre participou ativamente, lendo todos os textos produzidos por mim, criticando, reformulando e sugerindo novos caminhos. Não obstante, deu liberdade e autonomia para construir minha pesquisa. Aprendi muito com sua conduta como orientador e espero instituí-la quando ocupar a mesma posição. Mais do que elogios em forma de palavras, a melhor forma de reconhecimento para com uma pessoa é incorporar seus modos de pensar e agir em sua própria realidade.

Agradeço ao Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química (GHQ). A quantidade e diversidade de pessoas que pude conhecer desde 2011, ano em que ingressei no mestrado, enriqueceram não só esta tese, mas, também, a formação acadêmica, profissional e humana. Em especial, gostaria de lembrar os seguintes nomes: Zé Otávio; Anielli; Marcelo; Marcos; Mariana; Paulo Vidal; Elisa; Helena; Karina; Hélio; Winston; Júlia; e Yuly. Alguns eu convivi por mais tempo, outros menos, independentemente do tempo, cada qual contribuiu à sua maneira.

O Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da USP merece ser exaltado também. A vinda para São Paulo, em 2011, motivou-se, dentre outros fatores, pela inexistência, naquela época, de um programa de pós-graduação

semelhantes em minha instituição de origem. Além da oportunidade de realizar pesquisas na área de Ensino de Ciências, possibilitou o contato com pesquisadores de diferentes campos e linhas de pesquisa da Educação em Ciências. O número é vasto, por isso citarei apenas os das USP como os Professores Osvaldo Pessoa, João Zanetic, Ivã Gurgel, Flávio Maximiano, Marcelo Giordan, Cristiano Mattos, Mauricio Pietrocola e Alberto Villani, e as Professoras Maria Eunice, Daisy de Brito Rezende, Maria Regina, Maria Elice Prestes, Carmen Fernandez e Jesuina Pacca. Conhecer seus pontos de vista sobre os mais diferentes temas e, em alguns casos, dialogar com os próprios, promoveu o desenvolvimento não só da tese, mas, também, no amadurecimento acadêmico e profissional.

Os colegas discentes do interunidades também contribuíram com esta pesquisa. Em especial, cito Alexandre Bagdonas por ter incentivado a aproximação com as discussões da Natureza da Ciência. Além disso, realizamos, em parceria com a Flávia Polati, uma revisão bibliográfica sobre o tema. A confecção de tal trabalho pelos três, ampliou sensivelmente meu horizonte sobre o tema e contribuiu para desenvolvimento da tese.

Por questões de sigilo e anonimato não posso nominar os(as) participantes das intervenções didáticas descritas e discutidas por esta tese. Apesar disso, agradeço a todos eles/elas. Sem sua colaboração, empenho e confiança, uma parcela significativa desta tese careceria de amparo e, certamente, limitaria a abrangência de suas contribuições. De modo semelhante, agradeço ao regente que abriu sua sala de aula para a realização desta pesquisa. Não só sua disposição, mas, principalmente, sua participação nas atividades enriqueceu a tese.

Agradeço a Fernanda Honorio pela companhia e compreensão nas dificuldades enfrentadas ao longo do desenvolvimento da tese. A principal dificuldade nos últimos anos foi manter a sanidade, por isso, sua contribuição no amparo psicológico, emocional e humano tornou-se crucial. Não bastando, participou ativamente na transcrição de documentos produzidos pelas intervenções didáticas.

Por fim, mas não menos importante, agradeço aos órgãos de fomento, em particular, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa (nº do processo 1392789) concedida nos últimos 4 anos. O fomento público implica em responsabilidade social por parte do beneficiário. Por esse motivo, espero retribuir à sociedade o investimento.

A culpa foi minha, chorava ela, e era verdade, não se podia negar, mas também é certo, se isso lhe serve de consolação, que se antes de cada ato nosso nós puséssemos a prever todas as consequências dele a pensar nelas a sério, primeiro as imediatas, depois as prováveis, depois as possíveis, depois as imagináveis, não chegaríamos sequer a mover-nos de onde o primeiro pensamento nos tivesse feito parar. Os bons e os maus resultados dos nossos ditos e obras vão-se distribuindo, supõe-se que de uma forma bastante uniforme e equilibrada, por todos os dias do futuro, incluindo aqueles, infindáveis, em que já cá não estaremos para poder comprová-lo, para congratular-nos ou pedir perdão, aliás, há quem diga que isso é que é a imortalidade de que tanto se fala.

Ensaio sobre a Cegueira,
José Saramago (1992 – 2010).

Esclarecimento é a saída do homem de sua menoridade, da qual ele próprio é culpado. A menoridade é a incapacidade de fazer uso de seu entendimento sem a direção de outro indivíduo. O homem é o próprio culpado dessa menoridade se a causa dela não se encontra na falta de entendimento, mas na falta de decisão e coragem de servir-se de si mesmo sem a direção de outrem. Tem coragem de fazer uso de teu próprio entendimento, tal é o lema do esclarecimento. A preguiça e a covardia são as causas pelas quais uma tão grande parte dos homens, depois que a natureza de há muito os libertou de uma condição estranha, continuam, no entanto, de bom grado menores durante toda a vida.

Resposta à pergunta: o que é esclarecimento?
Immanuel Kant (1724 – 1804).

*Ética é a inteligência compartilhada
a serviço do aperfeiçoamento da
convivência humana.*

Clóvis de Barros Filho (1966 –)

RESUMO

ROZENTALSKI, E. F. (2018). *Indo além da Natureza da Ciência: o filosofar sobre a Química por meio da ética química* (Tese de doutorado). Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação – Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

A pertinência da História da Ciência, Filosofia da Ciência e Sociologia da Ciência para a Educação em Ciências tem sido defendida por cientistas, educadores, filósofos, historiadores e sociólogos de maneira sistemática desde a segunda metade do século XX. Dentre as diferentes contribuições atribuídas a cada uma dessas metaciências, entende-se que elas poderiam, cada qual com suas particularidades, fomentar melhores compreensões sobre Ciência entre cientistas, estudantes de ciências e professores atuantes nos diferentes níveis de ensino. Justificou-se que esses sujeitos podem apresentar compreensões pouco elaboradas a respeito do que é a ciência e como ela funciona, se comparadas às compreensões construídas pelas metaciências. Paulatinamente, tornou-se um objetivo educacional promover a superação das compreensões pouco elaboradas, com o intuito de formar cidadãos e cidadãs críticos e reflexivos. Na década de 1990, disseminou-se, principalmente no contexto anglo-saxão, a chamada de *abordagem consensual* da Natureza da Ciência, que se caracterizou por selecionar apenas os aspectos consensuais ou pouco controversos oriundos das metaciências e enunciá-los na forma de *enunciados declarativos* gerais sobre a Ciência, comumente na forma de *listas*. Dentre as críticas que se pode fazer à abordagem consensual, destacamos o progressivo distanciamento das metaciências que a fundamentam, a ponto do constructo Natureza da Ciência figurar como *autossuficiente*. Outro importante problema dessa abordagem é sugerir uma imagem única para a Ciência, decorrente do silenciamento das peculiaridades referentes às diferentes disciplinas científicas. Em vista disso, esta tese propõe uma nova abordagem para os educadores interessados em promover compreensões sobre a Química no âmbito da formação dos futuros profissionais desse campo: *ensinar a Filosofia da Química* e o *filosofar sobre a Química*. O primeiro aspecto está centrado no professor, e visa munilo com temas, questões, perspectivas e ideias provenientes da Filosofia da Química. O segundo aspecto centra-se nos estudantes, e seu propósito é permitir que eles/elas concebam, a partir da Filosofia da Química, suas próprias compreensões. O que se pretende é o desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo sobre a Química. Para avaliar essa proposta, foram planejadas e implementadas duas intervenções didáticas no Ensino Superior, voltadas à discussão do tema *ética química*, focalizando os riscos e incertezas associados à atividade química por meio de três abordagens: *filosófica*; *histórica*; e *contemporânea*. Cada abordagem apresenta potencialidades, dificuldades e limites próprios, por isso devem ser empregadas em conjunto. Observou-se, entre os participantes, que compreensões gerais sobre a Ciência, identificadas antes das intervenções, foram contextualizadas e compreendidas no âmbito da Química, caracterizando o *filosofar sobre a Química* dos estudantes.

Palavras-Chave: Natureza da Ciência. Filosofia da Química. Ética Química. Ensino Superior.

ABSTRACT

ROZENTALSKI, E. F. (2018). *Going beyond the Nature of Science: philosophizing about chemistry by means of chemical ethics* (Tese de doutorado). Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação – Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

The relevance of the History of Science, Philosophy of Science and Sociology of Science for Science Education has been systematically advocated by scientists, educators, philosophers, historians and sociologists since the second half of the twentieth century. Among the different contributions attributed to each of these metasciences, it is understood that they could, each with its particularities, foster better understandings *about* science among scientists, science students and teachers at different levels of education. It has been argued that such citizens may present poorly elaborated understandings of what science is and how it works, if compared to the understandings constructed by metasciences. Gradually, it became an educational objective to promote the overcoming of such poorly elaborated understandings, with the intention of forming critical and reflective citizens. In the 1990s, the so-called *consensus approach* to the Nature of Science was disseminated, especially in the Anglo-Saxon context. It was characterized by the selection of only the consensual or little controversial aspects from the metasciences, and by the enunciation of them in the form of declarative statements about science, usually in the form of lists. Among the criticisms raised against the consensus approach, we emphasize its progressive parting from the metasciences which served as its basis, to the point that the Nature of Science construct appears as self-sufficient. Another important problem of the consensus approach is to suggest a unique image for science, due to the silencing of the peculiarities of the different scientific disciplines. In view of such criticisms, this thesis proposes a new approach for educators interested in improving the understanding about Chemistry of future professionals of this field: *to teach the Philosophy of Chemistry and the philosophizing about Chemistry*. The first aspect is centered on the lecturer, and aims to provide him/her with themes, questions, perspectives and ideas coming from the Philosophy of Chemistry. The second aspect focuses on the students, and its purpose is to enable them to conceive, from the Philosophy of Chemistry, their own understandings. What is intended is the development of critical thinking about chemistry. To evaluate this proposal, two didactic interventions in Higher Education were planned and implemented, focusing on the discussion of chemical ethics and addressing the risks and uncertainties associated with chemical activity by means of three approaches: *philosophical, historical and contemporary*. Each approach has its own potentialities, difficulties and limits, so they must be combined. It was observed among the participants that general understandings about science, identified before the interventions, were contextualized and understood in the domain of Chemistry, thus characterizing students have developed *the philosophizing about Chemistry*.

Keywords: Nature of Science. Philosophy of Chemistry. Chemical Ethics. Higher Education.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
CAPÍTULO 1 – A HISTÓRIA, FILOSOFIA E SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA NA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS	17
1.1. <i>Apresentação</i>	17
1.2. <i>A História da Ciência na Educação em Ciências</i>	20
1.2.1. Razões para a implementação da História da Ciência no ensino	20
1.2.2. Razões contrárias à inserção da História da Ciência no ensino (e contra-argumentos).....	35
1.2.3. Qual perspectiva historiográfica pode ser levada ao ensino?	38
1.2.4. Desafios e obstáculos envolvidos em levar a História da Ciência para a sala de aula	43
1.2.5. Algumas recomendações e estratégias de como abordar a História da Ciência no ensino de Ciências	47
1.3. <i>A Filosofia da Ciência na Educação em Ciências</i>	50
1.3.1. Razões para a implementação da Filosofia da Ciência no ensino.....	50
1.3.2. Razões contrárias à inserção da Filosofia da Ciência no ensino (e contra-argumentos).....	62
1.3.3. Qual abordagem filosófica pode ser levada ao ensino?	65
1.3.4. Algumas recomendações e estratégias sobre como abordar a Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências	74
1.4. <i>A Sociologia da Ciência na Educação em Ciências</i>	77
1.4.1. Razões para a implementação da Sociologia da Ciência no ensino	77
1.4.2. Por que educadores resistiram à inserção da Sociologia da Ciência no ensino (e contra-argumentos)	84
1.4.3. Qual abordagem sociológica pode ser levada ao ensino?	87
1.4.4. Desafios e obstáculos envolvidos em levar a Sociologia da Ciência para a sala de aula.....	95
1.4.5. Algumas recomendações e estratégias de como abordar a Sociologia da Ciência no ensino	97
CAPÍTULO 2 – A NATUREZA DA CIÊNCIA NA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS	101
2.1. <i>O que é Natureza da Ciência?</i>	101
2.2. <i>A importância da Natureza da Ciência</i>	105
2.3. <i>Qual abordagem para a Natureza da Ciência tem sido defendida?</i>	112
2.4. <i>Como ensinar a Natureza da Ciência?</i>	117

2.5. Quais os desafios e obstáculos envolvidos?	121
2.6. Como avaliar a aprendizagem da Natureza da Ciência?.....	123
2.7. Críticas à abordagem consensual (e contra-argumentos)	129
2.8. Abordagens alternativas à visão consensual	139
CAPÍTULO 3 – FILOSOFIA DA QUÍMICA E O FILOSOFAR SOBRE A QUÍMICA	153
3.1. Breve histórico da Filosofia da Química	153
3.2. A Filosofia da Química na Educação Química	158
3.3. Filosofia da Química: um aporte para a Natureza da Química	167
3.4. Ensinar a Filosofia da Química e o filosofar sobre a Química: uma proposta	171
3.4.1. Motivações e perspectiva adotada.....	171
3.4.2. Para quem?	172
3.4.3. Para quê?	173
3.4.4. O que ensinar? Como ensinar?	175
3.4.5. Avaliar? Se sim, o que e como?.....	182
3.4.6. Quais os obstáculos e desafios envolvidos?	184
3.4.7. Da Natureza da Química em direção ao filosofar sobre a Química	186
3.5. Temas para promover o ensino e o filosofar sobre a Química	192
CAPÍTULO 4 – ÉTICA QUÍMICA	199
4.1. Apresentação.....	199
4.2. O que é ética?.....	199
4.3. A ética profissional.....	202
4.4. A ética científica.....	205
4.5. Da Filosofia da Química para a ética química	212
4.6. As implicações éticas da síntese química	216
4.7. A importância de um ensino explícito e formal sobre questões éticas	221
4.8. Como promover discussões éticas no ensino?	227
CAPÍTULO 5 – O ENSINO DE ÉTICA QUÍMICA EM NÍVEL SUPERIOR	240
5.1. Apresentação.....	240
5.2. Justificativa, questões e objetivos	240
5.3. Planejamento da intervenção.....	241
5.3.1. Contexto, público e antecedentes	241
5.3.1.1. Intervenção piloto.....	241
5.3.1.2. Intervenção disciplina HFC	243
5.3.2. Plano de aulas: estrutura, estratégias e atividades	249

5.3.3. Produção, sistematização e análise dos dados.....	257
5.4. Resultados e discussão: o ensino de ética química	262
5.4.1. Perfil dos participantes.....	262
5.4.2. Reconhecimento de concepções prévias.....	264
5.4.3. Análise da primeira aula: filosofia da química & ética química	273
5.4.4. Análise da segunda aula: história da química & ética química	281
5.4.5. Análise da terceira aula: caso hipotético & ética química	297
5.4.5.1. Caso hipotético: <i>Próximo ao limite</i>	297
5.4.5.2. Caso hipotético: <i>Sumiço de uma substância venenosa</i>	309
5.4.6. Compreensões após as intervenções	319
5.5. Ensino de ética química: contribuições, dificuldades e limites.....	327
CONSIDERAÇÕES FINAIS	332
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	337
APÊNDICE 1 – Termo de consentimento livre e esclarecido	365
APÊNDICE 2 – Questionário Concepções prévias sobre ética química	366
APÊNDICE 3 – Roteiro de leitura Thomas Midgley, Jr.	369
APÊNDICE 4 – Caso hipotético: <i>Próximo ao limite</i>	371
APÊNDICE 5 – Caso hipotético: <i>Sumiço de uma substância venenosa</i>	374
APÊNDICE 6 – Questionário Avaliação sobre ética química.....	376

INTRODUÇÃO

Esta tese teve seus primeiros vislumbres a partir de diferentes questionamentos surgidos ao me aproximar de um campo que desconhecia, a Filosofia da Química, quando desenvolvia meu trabalho de mestrado. Ainda que a Filosofia da Ciência fosse um campo minimamente conhecido, por conta de disciplinas cursadas na graduação e por leituras independentes, a Filosofia da Química era totalmente nova para mim. Para um bacharel e licenciado em Química, interessado desde o Ensino Básico em discussões histórico-filosóficas, o termo “Filosofia da Química” parecia reunir em si diferentes interesses. Entretanto, nada sabia a seu respeito: *O que é Filosofia da Química? Qual o seu objetivo? O que ela estuda? Como contribui para entender a Química?*

A dissertação de mestrado *O estatuto ontológico e epistemológico do conceito de orbital em livros didáticos de Química Geral no século XX* (Rozenalski, 2013), permitiu conhecer as origens, importância e possíveis contribuições da Filosofia da Química para a Educação Química, proporcionando uma visão panorâmica do campo. Essa condição motivou o prosseguimento da pesquisa em nível de doutorado, não apenas para conhecer em detalhes a Filosofia da Química, mas, principalmente, para estabelecer relações frutíferas com a Educação Química. Em especial, me interessei por reconhecer, selecionar e promover discussões para o ensino fundamentadas na Filosofia da Química, com o intuito de formar licenciados e bacharéis críticos e reflexivos. Em geral, a formação de bacharéis e licenciados em Química contempla poucas discussões de caráter histórico-filosófico. Mesmo quando presentes, a perspectiva, os contextos e as ideias discutidas não tomam a Química como referência. O próprio autor desta tese viveu essa situação, e também observou isso em outros locais. Uma das motivações desta tese foi a ambição de contribuir, ainda que modestamente, para a mudança desse panorama.

Simultaneamente à pesquisa de mestrado, a participação em congressos, leitura de artigos e conversas com colegas, resultou na aproximação a outro tema, a Natureza da Ciência. Esse constructo tem por objetivo combater visões pouco elaboradas sobre a Ciência amplamente disseminadas no Ensino de Ciências. A apropriação das discussões a respeito da Natureza da Ciência, pouco a pouco, levou à constatação de que nada, ou quase nada, era dito especificamente sobre a Química.

As compreensões comunicadas caracterizavam-se por sua generalidade, como, por exemplo: embora o conhecimento científico seja duradouro, tem caráter provisório; não existe um único modo de se fazer ciência (portanto, não existe um método científico universal, passo-a-passo); observações são carregadas de teoria; e ideias científicas são afetadas por seu meio social e histórico (McComas, Clough, & Almazroa, 1998b). Em vista disso, surgiram questionamentos como: *Por que a Química não está presente nas discussões da Natureza da Ciência? Como tais compreensões se aplicam à Química? Existem modos de pensar, proceder e comunicar próprios à Química que não estão sendo contemplados por essa abordagem? Seria possível conceber algo como uma Natureza da Química?* Essas questões orientaram a concepção de um projeto de pesquisa voltado a aproximar a Filosofia da Química da Natureza da Ciência.

As bases iniciais para a realização da pesquisa estavam lançadas. Contudo, em pouco tempo tornou-se necessário ampliar as investigações, devido à constatação de que a pesquisa sobre a Natureza da Ciência na Educação em Ciências havia substituído, senão totalmente, pelo menos em grande medida, as discussões sobre a História da Ciência, Filosofia da Ciência e Sociologia da Ciência no ensino. *Por que essa mudança? Qual o papel da História da Ciência, Filosofia da Ciência e Sociologia da Ciência no constructo Natureza da Ciência? Quais as contribuições de tais campos para a Educação em Ciências?*

A partir de tais questionamentos, o **Capítulo 1 – A História, Filosofia e Sociologia da Ciência na Educação em Ciências** foi concebido. O capítulo traça um histórico, ainda que breve, das metaciências mencionadas no âmbito da Educação em Ciências. Tradicionalmente, as contribuições das diferentes metaciências são compiladas sem distinguir o que é próprio de cada campo. Por isso, procurou-se identificar separadamente as razões para aproximar do ensino cada um daqueles campos metacientíficos, bem como objeções a essas aproximações; como eles podem ser abordadas no ensino; e possíveis dificuldades e obstáculos para implementar essas aproximações.

A revisão empreendida no Capítulo 1 revelou diferentes contribuições atribuídas aos campos metacientíficos, dentre as quais se destaca a promoção de melhores compreensões sobre a Ciência. Esse é o cerne e objetivo do constructo Natureza da Ciência. Por esse motivo, buscou-se entender em profundidade no **Capítulo 2 – A Natureza da Ciência na Educação em Ciências** os seguintes aspectos: o que é

Natureza da Ciência; qual a sua importância; quais abordagens têm sido propostas para seu ensino e avaliação; quais as dificuldades e obstáculos para implementá-la em sala de aula; quais críticas as abordagens tradicionais para a Natureza da Ciência têm recebido, e quais propostas têm sido sugeridas para substituí-las.

O Capítulo 2 reuniu uma série de argumentos relacionados às limitações da Natureza da Ciência, em especial a negligência às particularidades das diferentes disciplinas científicas. Assim, o **Capítulo 3 – Filosofia da Química e o Filosofar Sobre a Química** estrutura a proposta a ser defendida nesta tese, na qual a promoção de compreensões sobre a Química deve ser fundamentada no *ensinar a Filosofia da Química* e no *filosofar sobre a Química*. Para isso, o capítulo primeiramente estabelece um histórico da disciplina Filosofia da Química, suas contribuições para a Educação Química, e como a Natureza da Ciência tem sido conceituada por educadores em Química. Delineado isso, o capítulo caracteriza nossa proposta de abordagem: sua motivação, a quem se dirige, seus objetivos, como implementá-la e avaliá-la, desafios e obstáculos para a sua implementação, razões para substituir a Natureza da Ciência por ela, e possíveis temas com os quais a proposta pode ser desenvolvida.

Dentre os diferentes temas discutidos pela interface Filosofia da Química & Educação Química, optou-se por articular nossa proposta em torno do tema *ética química*. Por isso, o **Capítulo 4 – Ética Química** visa discutir brevemente os significados de ética, ética profissional e ética científica; os fundamentos em torno do estabelecimento de uma ética própria à Química, amparada na Filosofia da Química; justificativas para o ensino da ética química para profissionais de Química; e sugestões sobre como ensiná-la.

Com o intuito de avaliar o *ensinar a Filosofia da Química* e o *filosofar sobre a Química* por meio da ética química, as seguintes questões de pesquisa foram elaboradas: *Como promover discussões sobre a ética química na formação de futuros profissionais de Química? Quais as potencialidades, limites e dificuldades das abordagens adotadas para essa finalidade? Qual a contribuição da ética química para o desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo dos estudantes sobre a Química?* Para respondê-las, o **Capítulo 5 – O Ensino de Ética Química em Nível Superior** descreve o planejamento e a implementação de duas intervenções didáticas no âmbito do Ensino Superior. O capítulo justifica a iniciativa e apresenta seus objetivos; relata o contexto no qual as intervenções foram realizadas; apresenta o plano de

aulas, a metodologia de produção, sistematização e análise de dados; apresenta e discute os resultados das intervenções de acordo com os pressupostos da proposta.

A tese é estruturada ao longo dos capítulos, porém, cada um deles tem uma coerência interna e pode ser lido de maneira independente dos demais, de acordo com os interesses do leitor. A divisão de cada capítulo em seções confere uma organização às discussões e também procura contribuir para dirigir o leitor a interesses mais específicos.

Finalmente, as **Considerações Finais** resumem as ideias centrais de cada capítulo com o intuito de destacar suas contribuições para o desenvolvimento desta tese. Considerações sobre as contribuições, dificuldades e limites da proposta de *ensinar a Filosofia da Química e o filosofar sobre a Química* também são apresentadas. Além disso, sugerem-se caminhos para refinar e ampliar a proposta, assim como são feitas sugestões para novas pesquisas.

CAPÍTULO 1 – A HISTÓRIA, FILOSOFIA E SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA NA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

1.1. Apresentação

A importância do presente capítulo foi percebida ao longo de nossas reflexões sobre o tema *Natureza da Ciência*, que será discutido em detalhes no próximo capítulo. O volume substancial e crescente de trabalhos produzidos nacional e internacionalmente sobre essa temática a levou a ser considerada, por alguns autores, como uma *linha* de pesquisa dentro da História e Filosofia da Ciência no ensino. Isso certamente não é um problema: poderíamos considerar como um processo análogo ao desenvolvimento de novas subáreas ou *linhas temáticas* no campo das ciências da Natureza, como ocorre, por exemplo, na área de Química Inorgânica (Toma, Ferreira, & Serra, 2002).

No entanto, a leitura de trabalhos sobre a Natureza da Ciência nos levou a constatar a predominância de tais discussões, no Brasil, principalmente a partir dos anos 2000, a ponto de sobrepujarem outras reflexões em torno da História, Filosofia e Sociologia da Ciência para a Educação em Ciências¹. Um possível motivo para isso seria a inexistência de argumentações contrárias à inserção de discussões sobre a Natureza da Ciência no ensino, enquanto que a inserção da História da Ciência e Filosofia da Ciência, em especial a primeira, teria sido marcada por controvérsias. O consenso em torno da Natureza da Ciência entre os educadores dissipou as

¹Neste trabalho empregaremos os termos *Educação em Ciências* e *Ensino de Ciências* de modos distintos; sendo assim, faz-se necessário esclarecer nosso entendimento a respeito desses termos. A Educação em Ciências se fundamenta em diferentes disciplinas científicas, a saber, na História, Filosofia e Sociologia da Ciência, na Psicologia da Ciência, nas Ciências da Educação e na Ética. Essas áreas de conhecimento adquirem novos significados no âmbito da Educação em Ciências e edificam uma epistemologia própria, buscando fornecer respostas aos problemas de ensino, aprendizagem e formação em Ciências. A Educação em Ciências, ainda, conduz a orientações para o Ensino de Ciências pautados em pesquisas. É neste último que a prática docente se desenvolve e encontra problemas, obstáculos e desafios, devido à complexidade do processo de ensino-aprendizagem. Assim, a Educação em Ciências tem no Ensino de Ciências um contexto no qual seus pressupostos podem ser aplicados e avaliados (Alves, 2010; Cachapuz *et al.*, 2004). Os significados descritos podem ser estendidos também para *Educação Química* e *Ensino de Química*, no sentido de que o primeiro é mais amplo que o segundo, envolvendo uma ampla gama de aspectos dos processos formativos em torno da Química, que vão além da sala de aula (Rosa & Rossi, 2012). Bejarano e Carvalho (2000), por sua vez, propõem que a expressão *Educação Química* pode ser utilizada para se referir à pesquisa em ensino de Química, enquanto ensino de Química corresponde ao fenômeno de ensinar Química, sem que isso implique, necessariamente, em pesquisa.

discussões dos pontos controversos a respeito da História e da Filosofia da Ciência (Vilas Boas, Silva, Passos, & Arruda, 2013)².

Mesmo que rejeitemos a explicação anterior, ou a entendamos como não suficiente para explicar o deslocamento do foco, há implicações em restringir nossa atenção *apenas* à Natureza da Ciência, as quais podem ser deletérias a sua compreensão. Uma delas é considerar *Natureza da Ciência* como equivalente a *História, Filosofia e Sociologia da Ciência*.

A História da Ciência, a Filosofia da Ciência e a Sociologia da Ciência são disciplinas autônomas e independentes, que possuem modos de pensar, fazer e comunicar, objetivos, metodologias, congressos e periódicos próprios. Em comum, as três disciplinas se caracterizam por serem dedicadas a investigar o empreendimento científico, sendo, assim, consideradas *metaciências*. A constituição de vieses particulares leva, por sua vez, a enfoques diferentes sobre a ciência, os quais podem ser complementares entre si. Contudo, controvérsias são partes constituintes do desenvolvimento de cada um desses campos, nas quais perspectivas diametralmente opostas podem estar em jogo. Não obstante, como quaisquer disciplinas científicas, são passíveis de modificação quanto às suas bases teórico-metodológicas ao longo do tempo, o que se reflete, por exemplo, em novos assuntos a serem investigados pelas respectivas comunidades de pesquisadores, bem como em novos olhares para assuntos já estudados. Por consequência, diferentes momentos históricos selecionados de um dos supracitados campos podem resultar, também, em perspectivas diametralmente opostas em relação à ciência.

Tendo delineado isso, queremos deixar claro que não consideramos a História da Ciência, a Filosofia da Ciência e a Sociologia da Ciência como um corpo de conhecimentos único. Entretanto, por uma questão de simplicidade, iremos empregar, ao longo deste trabalho, as expressões *História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC)* e *História e Filosofia da Ciência (HFC)*, no contexto da Educação em Ciências e Ensino de Ciências. O que se pretende com tais expressões é destacar a

²Embora não tenhamos realizado uma pesquisa do tipo *estado da arte*, a leitura em quantidade e diversidade de artigos sobre a temática Natureza da Ciência, produzidos por diferentes autores, em diferentes locais e épocas, revela que razões contrárias à sua inserção no ensino não são, de fato, apresentadas. Quando um argumento de natureza contrária é exposto, ele serve apenas como pretexto para justificar a importância do ensino da Natureza da Ciência. Por exemplo, Bell (2006) apresenta, inicialmente, que compreensões mais elaboradas sobre a ciência poderiam resultar em uma visão *fragilizada* acerca da ciência, por destacar que ela não produz *verdades* e possui limitações. Contudo, manter visões pouco elaboradas iria contra o que é discutido nas metaciências. Assim, Bell (2006) conclui que compreensões mais elaboradas se baseiam na *honestidade intelectual*.

apropriação feita pelos educadores em ciências de conhecimentos, enfoques e abordagens oriundos das referidas metaciências. No entanto, assim como cada uma das metaciências possui vieses particulares, o mesmo se aplica para a Educação em Ciências. Assim, ao tomar contato com cada uma das metaciências mencionadas, as quais são plurais, complexas, dinâmicas e repletas de controvérsias, os educadores carregam consigo visões a respeito *do que, para quê, para quem e por que ensinar Ciências*, levando em conta, também, os problemas de ensino, aprendizagem e formação em Ciências. Esses aspectos orientam o que se pretende selecionar nas metaciências e, após sua transposição, adquirem novo significado no âmbito da Educação em Ciências.

Assim, dentre as diferentes contribuições que os referidos campos têm proporcionado à Educação em Ciências, que destacaremos neste capítulo, um deles se refere à construção, por parte dos educadores, do que chamamos Natureza da Ciência. A seleção de conteúdos discutidos em tais campos alimentará o constructo *Natureza da Ciência*, de modo que eles são *essenciais e condições necessárias*, ainda que não suficientes, para sua formulação no contexto educacional. Negligenciar tais campos ou atribuir papel secundário a eles implica em uma compreensão pouco elaborada do significado desse constructo.

Este capítulo visa proporcionar uma visão ampla a respeito da História, Filosofia e Sociologia da Ciência na Educação em Ciências, apresentando um panorama das contribuições, razões, controvérsias, abordagens e estratégias discutidas para cada um dos campos. Restringiremos nossa atenção, principalmente, a artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais da área de Educação em Ciências, cujo foco seja avaliar de maneira isolada cada campo em especial, permitindo, por consequência, identificarmos as contribuições específicas de cada um deles e, mesmo, comparar pontos em comum entre eles.

Não temos a pretensão de esgotar essa vasta literatura, pois nosso interesse maior reside nas discussões *sobre* ciência que se fundamentam e são contextualizadas pela História, Filosofia e Sociologia da Ciência. A aproximação com essas disciplinas visa promover, tanto em nível básico como superior, o *ensino contextual das ciências* (Gil-Pérez, 1993; Matthews, 1994, 1995; Prestes & Caldeira, 2009), a partir da discussão de aspectos históricos, filosóficos, sociais e culturais das ciências, com vistas a superar o ensino tradicional pautado unicamente nos conteúdos científicos.

1.2. A História da Ciência na Educação em Ciências

1.2.1. Razões para a implementação da História da Ciência no ensino

A História da Ciência (HC) no ensino tem sido defendida por cientistas, historiadores e educadores em ciências de maneira sistemática desde a segunda metade do século XX. Contudo, antes disso também se observam vozes esparsas ao longo do século XIX e começo do XX. Por exemplo, o filósofo e historiador William Whewell (1794-1866) argumentou que a HC era indispensável para promover uma *cultural intellectual*, entendida por ele como a compreensão do processo de produção do conhecimento. O cientista e filósofo Ernst Mach (1838-1916), por sua vez, considerava a HC como necessária para a compreensão de um conceito teórico por delinear seu desenvolvimento histórico. A presença da HC no ensino também foi defendida por associações científicas, como a Associação Britânica para o Progresso da Ciência, que em diferentes épocas destacou a importância da HC (Matthews, 1995, 2012).

Pode-se mencionar, também, a confecção de obras por cientistas-educadores ao longo da primeira metade do século XX, cujo objetivo era divulgar a História da Ciência, e que eram utilizadas em disciplinas ministradas por seus autores nas universidades dos Estados Unidos da América (EUA). Ainda que tais obras fossem escritas por cientistas sem formação profissional em História da Ciência, incorrendo dessa maneira em erros não aceitáveis sob o ponto de vista dos profissionais da área, Holton (2003) destaca que elas proporcionaram maior visibilidade e respeitabilidade à profissão de historiador da ciência, um campo que na primeira metade do século XX ainda era muito pequeno e com poucos especialistas nas universidades dos EUA.

Além disso, geraram apreço pela História da Ciência em gerações sucessivas de cientistas, e os motivaram a escrever seus próprios livros sobre o tema³, como, por exemplo, o físico Robert A. Millikan (1868-1963), influenciado quando jovem por livros dessa natureza (Holton, 2003).

³Holton (2003) deixa claro que o ensino universitário estadunidense antes da Segunda Guerra Mundial atingia uma parcela reduzidíssima da população, a ponto de, em 1940, apenas 5% da população com idade de até 21 anos frequentava a universidade, sendo que, desse grupo, 62% a abandonavam antes da conclusão.

Ainda que cada uma dessas vozes tivesse em mente compreensões sobre educação, história e ciência diferentes das atuais, bem como objetivos educacionais próprios para a História da Ciência na formação dos estudantes⁴, reflexo de seus contextos sócio-histórico-culturais, elas ilustram que a defesa pela incorporação da abordagem histórica no Ensino de Ciências tem uma longa história.

Na segunda metade do século XX, a defesa da História da Ciência no ensino (e também da Filosofia da Ciência, que será delineada na próxima seção), acompanhada também, ainda que em menor escala, de sua implementação em currículos e materiais instrucionais, intensificou-se, em especial, nos EUA.

Uma iniciativa consistente, envolvendo a produção de estudos de caso históricos e sua implementação, se deu na Universidade de Harvard, por iniciativa do químico, historiador e presidente dessa instituição de 1933 a 1953, James Bryant Conant (1893-1978). O ponto de inflexão se deu após o fim da Segunda Guerra Mundial, quando Conant conheceu jovens soldados que retornavam e, para seu espanto, sabiam muito pouco sobre os valores que caracterizariam uma “sociedade livre”. Este, em sua opinião, era justamente o tipo de sociedade que eles foram defender na guerra (Holton, 2003).

Naturalmente, Conant não foi o único a ter essa avaliação, e reuniu um conjunto de cientistas e intelectuais da Universidade de Harvard para defender um ensino universitário direcionado a formar cidadãos com uma cultura mais ampla. Esse projeto para o ensino universitário estadunidense, mas que incluía também, em alguma medida, os níveis de ensino anteriores, culminou no manifesto *General Education in a Free Society [Educação Geral em uma Sociedade Livre]* publicado em forma de livro em 1945.

Nos anos que se seguiram, Conant buscou concretizar tais objetivos pelo ensino de disciplinas de ciência voltadas a profissionais de carreiras não-científicas, nas quais a História da Ciência (e a Filosofia da Ciência) tinha papel essencial. Após mais de uma década produzindo e aplicando seus estudos de caso históricos na forma de folhetos (Klopfer, 1964), Conant reuniu todos eles, somados aos de outros autores, no livro *Harvard Case Histories in Experimental Science* (Conant, 1957).

⁴Por exemplo, no início do século XX, no contexto da Primeira Guerra Mundial, argumentar que a História da Ciência promoveria a dimensão humana visava, diferente do que defendemos, enfatizar as grandes descobertas científicas e seus descobridores, de maneira a inspirar os jovens (Prestes & Caldeira, 2009).

O objetivo da obra era proporcionar aos estudantes universitários cursando humanidades e ciências sociais, incluindo desde futuros advogados até professores, “uma compreensão dos métodos da ciência experimental e do crescimento da pesquisa científica como um atividade organizada da sociedade”⁵ (Conant, 1957, p. vii). Sua abordagem buscava contemplar, em termos amplos, o que Conant chamou de *compreensão da ciência*. Segundo ele, a especialização crescente da ciência tornou mais difícil a compreensão e o entendimento do jargão técnico de cientistas por parte do público não-iniciado, o que, por sua vez, levava este público a não compreender o que a ciência pode, ou não, realizar (Conant, 1957).

Assim, para diminuir essa distância, Conant defendeu que uma *compreensão da ciência* poderia ser promovida mediante *estudos de caso históricos*, os quais destacariam o alcance e os limites dos métodos científicos. Tais conhecimentos subsidiariam os profissionais dos mais diferentes campos a resolver problemas de suas áreas a partir do sucesso em resolver problemas das ciências naturais. Esse resultado não seria alcançado pelo ensino tradicional baseado em conhecimento *factual* da ciência, mas por meio de um ensino *processual* da ciência (Andrade, 1996). Em última instância, Conant desejava melhorar o regime democrático através de decisões individuais mais fundamentadas de seus cidadãos, que viviam em uma era científica e tecnológica, na qual uma *compreensão da ciência* teria papel essencial para se alcançar o ideal de uma *Educação Geral em uma Sociedade Livre* (Holton, 2003).

Apesar do foco na formação universitária, Andrade (1996) interpreta que Conant considerou também a importância da *compreensão da ciência* no ensino básico como forma de combater o dogmatismo dos livros didáticos da época e dos professores em suas aulas. Os estudos de caso históricos poderiam promover compreensões sobre: as dificuldades inerentes ao desenvolvimento científico; a criação de novas abordagens ao longo do desenvolvimento da ciência; o papel da observação e do experimento na produção de novos conhecimentos; o papel da descoberta acidental; as condições nas quais ideias são modificadas ou substituídas; o papel do conhecimento prévio na realização, planejamento e controle de experiências; a

⁵Conant explicitou que a História da Ciência forneceria exemplos em relação à não existência de um único caminho de se fazer ciência; sendo assim, ele se referiu a *métodos* e não a o método (Andrade, 1996).

relação entre ciência e tecnologia; o caráter dinâmico da ciência; o papel da comunidade científica; e a relação entre ciência e sociedade.

Poucos anos depois da iniciativa de Conant no âmbito do ensino universitário, o ensino básico de ciências estadunidense, em movimento de renovação devido às altas taxas de evasão e baixos rendimentos em avaliações dos estudantes, apresentaria também as primeiras propostas mais consistentes envolvendo a incorporação de abordagens históricas.

A renovação do ensino de ciências nos EUA, em andamento desde o início dos anos 1950 (Duschl, 1985), recebeu impulso extra com o lançamento do primeiro satélite artificial – o *Sputnik* – por parte da extinta União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) em 1957, acirrando, ainda mais, a disputa entre esses dois países no contexto da Guerra Fria. Esse feito abalou não somente a supremacia dos EUA no âmbito científico-tecnológico, mas, de maneira geral, das potências ocidentais que constituíam o “bloco capitalista” e, em parte, foi considerado consequência do fracasso do sistema educacional desses países, em particular, do Ensino de Ciências e Matemática (Nardi, 2005; Winter & Melo, 2007).

Assim, com intuito de recuperar a hegemonia perdida, países como EUA e Inglaterra começam a investir pesadamente na renovação do Ensino de Ciências e Matemática. Nos EUA, órgãos governamentais – como o *National Research Council* (NRC) e a *National Science Foundation* (NSF) – e associações científicas começaram a promover encontros e conferências com o objetivo de construir um novo currículo de ciências. Até então, os currículos organizavam-se em torno dos conteúdos de maneira fragmentada, e seu ensino-aprendizagem se baseava na transmissão-memorização. Além disso, pouca ou nenhuma atenção era dada ao desenvolvimento histórico e às relações entre ciência, tecnologia e sociedade (Winter & Melo, 2007). Foi nesse contexto que a aproximação entre Educação em Ciências e História da Ciência se deu com mais força em relação às décadas anteriores, estabelecendo pouco a pouco o movimento de inserção da *História e Filosofia da Ciência* (HFC) no ensino⁶.

⁶Outros movimentos também compromissados em renovar o Ensino de Ciências começaram a se constituir em anos posteriores, como o movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Suas motivações incluíam, além do que já foi mencionado, a insegurança gerada pela possibilidade de holocausto nuclear, os problemas ambientais crescentes causados pela industrialização massiva (como, por exemplo, a chuva ácida) e o emprego indiscriminado de produtos químicos (como, por exemplo, o DDT). Por consequência, o movimento CTS congregou não apenas educadores, mas,

Na década de 1960, inúmeros projetos curriculares, bem como materiais instrucionais, foram concebidos e implementados nos EUA, tais como: na Física, o *Physical Science Study Committee* (PSSC) e o *Harvard Project Physics*; na Química, o *CHEM Study* e o *Chemical Bond Approach* (CBA); e na Biologia, o *Biological Science Curriculum Study* (BSCS). Em anos posteriores, mediante convênios firmados entre os EUA e o Brasil, esses materiais seriam traduzidos e aplicados por aqui em cursos de licenciatura e em escolas do ensino básico (Nardi, 2005).

A maioria dos projetos foram concebidos e escritos por cientistas proeminentes da época, baseando-se na filosofia de que estudantes aprenderiam ciência *fazendo ciência*, de modo que a instrução deveria ser planejada a fim de os estudantes pensarem e operarem *como* cientistas. Diante disso, a experimentação seria a estratégia mais adequada para alcançar esse objetivo. A ênfase na *ciência como investigação* reforçou a visão da ciência para formação de cientistas e, não obstante, seus objetivos principais de promover melhores habilidades de investigação, assim como melhores compreensões *sobre* a ciência, não se confirmaram nas pesquisas empíricas (Duschl, 1985; Hodson, 1985).

Dentre os inúmeros projetos desenvolvidos, um número reduzido incorporou aspectos histórico-filosóficos. Um deles foi *Harvard Project Physics*, fruto da participação de historiadores da ciência como Gerald Holton e Stephen Brush em sua elaboração, inspirados pelo sucesso dos *Harvard Case Histories in Experimental Sciences* de Conant, e dirigido para a formação cultural mais ampla de estudantes universitários de carreiras não-científicas (Andrade, 1996; Conant, 1957).

Se comparado a outros projetos, como o do *Physical Science Study Committee*, o *Harvard Project Physics* teve menor alcance, atingindo, em seu auge, 15% dos estudantes do ensino básico dos EUA. Muitas pesquisas, realizadas em anos posteriores, consideraram o projeto *Harvard* bem-sucedido, pois diminuiu a evasão dos estudantes, atraiu mulheres para os cursos de ciências, promoveu o raciocínio crítico e, ainda, resultou em melhor desempenho dos estudantes nas avaliações da época (Matthews, 1995; Siegel, 1979). Tais resultados forneceram indícios mais consistentes em relação à relevância da abordagem histórico-filosófica no Ensino de Ciências.

também, pacifistas e ambientalistas interessados na formação de cidadãos mais críticos em relação às implicações recíprocas entre ciência, tecnologia e sociedade (Vesterinen *et al.*, 2014).

Na mesma época dos projetos curriculares, identificam-se também pesquisas na área de Educação em Ciências defendendo a pertinência da História da Ciência. Ao longo da década de 1960, o educador estadunidense Leopold Klopfer apresentou uma série de trabalhos argumentando em favor de uma abordagem baseada em estudos de caso históricos, com o intuito de promover melhor compreensão da ciência entre estudantes do nível médio (*High School*) (Klopfer, 1964, 1969; Klopfer & Cooley, 1963). Klopfer ainda seria responsável pela produção do material *History of Science Cases*, voltado para a promoção de discussões históricas no ensino de ciências.

Assim como os autores do *Harvard Project Physics*, Klopfer reconheceu o sucesso de Conant em implementar a História da Ciência por meio de estudos de caso históricos no contexto universitário como fonte de inspiração para promover a abordagem histórica na educação básica. Nesse nível de ensino, o objetivo não deveria ser a formação de futuros cientistas (ainda que uma pequena porcentagem pudesse seguir esse caminho), mas contribuir para a alfabetização científica de *todos* os estudantes. Para alcançar esse propósito, o ensino baseado unicamente na compreensão dos conceitos científicos seria insuficiente, necessitando ser complementado por discussões sobre como as ideias científicas são elaboradas, o que leva os cientistas a se engajarem na atividade científica, quais os objetivos e processos de investigação da ciência, quais as interações entre ciência e cultura geral, e quais os impactos da ciência e tecnologia na sociedade (Klopfer, 1969).

Na visão de Klopfer, as discussões sobre a natureza da ciência e os processos de investigação científica poderiam ser promovidas a partir de estudos de caso históricos, os quais gerariam reflexões acerca do passado aplicáveis à ciência contemporânea. Klopfer e Cooley (1963) justificaram, amparados em pesquisas empíricas da época, que as compreensões dos estudantes do ensino médio a respeito do empreendimento científico e dos cientistas eram inadequadas e distorceriam o que a ciência é realmente. Assim, a História da Ciência poderia auxiliar os estudantes a desenvolverem melhores compreensões sobre a ciência, e fornecer aos professores materiais para alcançar esse fim (Klopfer, 1964, 1969)⁷.

⁷Klopfer e Cooley (1963) apresentaram resultados empíricos para sustentar suas alegações, indicando que estudantes tiveram melhores compreensões sobre a ciência e os cientistas após a implementação de uma abordagem histórica baseada em estudos de caso. É interessante notar que, nesse trabalho, os autores não verificaram se haveria melhores compreensões dos conceitos científicos em relação às abordagens tradicionais, e sequer reivindicaram esse objetivo para a abordagem histórica.

Nos EUA, a crescente importância atribuída à contribuição da História da Ciência ao Ensino de Ciências culminaria, em 1970, no primeiro seminário internacional dedicado a discutir o papel da História da Física na formação dos físicos, organizado pelo historiador da ciência Stephen Brush e pelo educador em física Allan King. As motivações do evento, conforme citado por Victor Brotons em artigo de 1983, eram as seguintes:

- 1) Muitos professores de física têm-se convencido de que alguma apreciação do desenvolvimento histórico desta ciência é fundamental para compreender a natureza e a função atual da mesma, e que a perspectiva histórica pode ser válida tanto para produzir conhecimentos novos como para explicar os existentes.
- 2) Em uma era de alta especialização, as origens comuns refletidas na história podem contribuir para manter uma imagem global do empreendimento científico.
- 3) A aproximação histórica se tem revelado especialmente útil no ensino da física ao estudante mais interessado nas personalidades, aspectos filosóficos e função social da ciência do que em detalhes técnicos.
- 4) O florescimento da história da ciência como uma disciplina profissional tem proporcionado ao professor um amplo repertório de literatura e contato com colegas formados neste campo (Brotons, 1983, p. 52).

A constituição de uma comunidade madura, interessada em implementar não só abordagens históricas, mas, também, sociológicas, filosóficas e culturais no ensino, congregando cientistas, historiadores da ciência, filósofos da ciência e educadores em ciência se concretizaria ao longo dos anos de 1980 e 1990, fato observado pelo crescente número de eventos, periódicos científicos e esforços voltados à implementação de tais abordagens (Forato, Guerra & Braga, 2014; Matthews, 1994).

Além disso, os novos currículos nacionais de ciências, elaborados ao longo da década de 1980 em países como EUA e Inglaterra, explicitaram aspectos relacionados ou promovidos pela História da Ciência na formação dos estudantes no nível básico, alçando-a a um novo patamar de importância e reconhecimento (Matthews, 1994; Pumfrey, 1991).

Em 1992, as discussões a respeito das contribuições da História da Ciência, bem como da Filosofia e da Sociologia da Ciência para o ensino, aprendizagem e currículos de ciências, ganham um periódico dedicado exclusivamente a tais questões, a *Science & Education*. Um dos criadores e editor desse periódico por mais de 20 anos, Michael Matthews compilou as razões para a inserção da História da Ciência no Ensino de Ciências: (1) promover melhor compreensão dos métodos e conceitos

científicos; (2) conectar o desenvolvimento do pensamento individual com o desenvolvimento das ideias científicas; (3) o valor intrínseco em se compreender importantes episódios da história da ciência e cultura – a Revolução Científica, o Darwinismo, a descoberta da penicilina, e assim por diante; (4) contribuir para a compreensão da Natureza da Ciência; (5) combater o cientificismo e dogmatismo que são comumente encontrados nas aulas e textos de ciências; (6) humanizar a ciência; e (7) integrar diferentes disciplinas científicas e acadêmicas (Matthews, 1994).

Em países ibero-americanos, como Espanha, Portugal e Brasil, os esforços em torno das contribuições da História da Ciência ao ensino intensificaram-se em meados da década de 1970 e início da década de 1980, em sinergia com a constituição do campo de pesquisa em Educação em Ciências nesses países.

Em 1974, criou-se na Espanha a *Sociedad Española de Historia de las Ciencias*, com o objetivo de incentivar e desenvolver investigações sobre a função da história da ciência na pedagogia das ciências e da história, tendo em vista, especialmente, sua incorporação aos níveis de ensino médio e superior (Brotons, 1983). Ao longo da década de 1980, educadores em ciências desse país se incorporaram ao movimento em prol das contribuições da História da Ciência à Educação em Ciências e ao Ensino de Ciências. Em 1983 foi criado o periódico *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, que apresentou desde sua primeira edição uma seção voltada à *historia de las ciencias y enseñanza*.

Valera e colaboradores (1983) argumentaram que o conhecimento do desenvolvimento histórico da ciência por parte do professor subsidiaria o ensino dos conceitos científicos, na medida em que compreensões conceituais intuitivas de seus estudantes, as quais muitas vezes resultam em compreensões equivocadas, poderiam ser relacionadas com ideias abandonadas ao longo da História da Ciência.

Gagliardi e Giordan (1986) também argumentaram que o conhecimento dos obstáculos epistemológicos que resultaram no abandono de ideias ao longo da História da Ciência, por analogia, poderia ser útil para superar os obstáculos epistemológicos atuais dos estudantes⁸. A abordagem histórica, ainda, poderia contribuir para a formação de cidadãos, não somente na formação para o trabalho,

⁸Os autores não explicitam isso, mas essa compreensão, conhecida também como *paralelismo*, que estabelece analogias entre a aprendizagem dos estudantes e o desenvolvimento das ideias ao longo da História da Ciência, foi um pressuposto do modelo de mudança conceitual proposto na época por George Posner e colaboradores. Villani (2001) apresenta as características dos diferentes modelos de mudança conceitual e as críticas que cada um deles recebeu.

mas também para a participação ativa em assuntos sociais, e desenvolver nos estudantes características como a confiança em si mesmos, a capacidade e o prazer em aprender, a curiosidade e a capacidade de identificar informações pertinentes em meio a uma massa de dados.

Na perspectiva desses autores, a formação de cidadãos com tais conhecimentos e comportamentos passaria pela discussão sobre os problemas envolvidos ao longo da geração do conhecimento científico, em termos do conteúdo e de seu processo social de produção e apropriação. Para isso, a História da Ciência poderia atuar como uma parte específica dos conteúdos direcionada *ao que é conhecer e como conhecemos*, com o intuito de discutir que os conhecimentos científicos atuais não são verdades absolutas, mas construções realizadas em um dado contexto; que não são simples acumulação de observações, mas que envolvem métodos de análise e teorias que se renovam periodicamente; que existem relações sociais, econômicas e políticas envolvidas nas mudanças científicas; e que essas mudanças enfrentaram resistências em suas épocas.

Tais discussões proporcionariam aos estudantes *ferramentas conceituais* para compreender a ciência atual, a ideologia dominante e os setores que a controlam e se beneficiam de seus resultados. Além disso, a História da Ciência poderia orientar a escolha dos conceitos fundamentais para o ensino, como exemplificaram Gagliardi e Giordan (1986) para o caso da noção de espécie.

Sánchez-Ron (1988) defendeu a inclusão da História da Ciência na formação de estudantes pré-universitários e na formação de professores, visando ilustrar que os caminhos da descoberta científica são múltiplos e mesmo inescrutáveis. Segundo ele, a História da Ciência feita por historiadores profissionais não corrobora a existência de um único método científico, de maneira que o ensino da História da Ciência deveria privilegiar a componente criativa, anárquica ou heterodoxa que caracteriza a ciência. Segundo Sánchez-Ron (1988), a pluralidade permeia a História da Ciência. Observa-se que o autor explicitamente se inclina ao anarquismo epistemológico de Feyerabend e à sociologia de Merton, considerando “errôneas” as contribuições da nova Filosofia da Ciência.

Ainda no periódico *Enseñanza de las Ciencias*, em meados da década de 1990, a educadora argentina Olimpia Lombardi (1997) relatou que existia um consenso quase unânime entre os pesquisadores da Educação em Ciências quanto à

pertinência da perspectiva histórica na formação científica, notando sua crescente incorporação à teoria e à prática do Ensino de Ciências.

No Brasil, podemos identificar artigos defendendo as contribuições da História da Ciência ao Ensino de Ciências desde a década de 1980. Em 1988, o *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (atual *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* [CBEF]), publicou um número especial com os trabalhos apresentados no I Ciclo de Seminários sobre História da Ciência, realizado no ano de 1987 em Florianópolis, cuja intenção era delinear as contribuições da História da Física para o Ensino de Física, bem como para a formação de professores e pesquisadores dessa área (Peduzzi & Peduzzi, 1988).

Em um dos trabalhos publicados nessa edição especial, Robilotta (1988) avaliou que os professores de Física pouco sabiam, em nível refletido e consciente, sobre as características do conhecimento físico, bem como sobre o modo pelo qual ele é produzido. A ausência de reflexões sobre essas dimensões resultaria, segundo o autor, em dificuldades de ensino-aprendizagem. Robilotta (1988) cita como exemplos o fato de estudantes de Física, mesmo com bom desempenho em avaliações dessa disciplina, apresentarem dificuldades em enfrentar situações ou problemas que extrapolam os contextos estudados em sala de aula, e também a perda gradativa da capacidade de indagar-se ao longo da escolarização, e a falta de interesse em estudar Física.

Para superar esse cenário, o autor defendeu que a História da Ciência no Ensino de Física poderia promover a compreensão do processo de construção do conhecimento físico, proporcionando visões distintas em relação à ciência então ensinada nas escolas. Robilotta (1988) argumentou que:

O reconhecimento da existência de soluções alternativas a um dado problema promove o desenvolvimento de uma postura crítica, porque leva a pessoa a optar. Para optar, é preciso haver critérios. A não unicidade de critérios leva cada um a se posicionar, forçando uma postura menos passiva frente ao conhecimento. [...] O contraste promove a consciência, e o que **É** é melhor compreendido ao ser comparado com o que **NÃO É** (Robilotta, 1988, p. 17-18, negritos do autor).

Além disso, a História da Ciência cumpriria o papel de humanizar a ciência, por destacar que o fazer científico é uma atividade humana e, também, inserindo os estudantes nessa tradição (Robilotta, 1988). Embora não mencionado explicitamente

pelo autor, a citação acima permite inferir que a História da Ciência promoveria também melhor compreensão dos conceitos científicos.

Ainda nessa edição especial, esse objetivo foi discutido em detalhes por Martins (1988), que considerou como exemplo o ensino de eletromagnetismo e o papel de sua história para o esclarecimento de aspectos conceituais, sendo, desse modo, importante para professores compreenderem os conteúdos, as dificuldades em torno deles, como abordá-los e, também, compreenderem as dúvidas de seus alunos.

Nos anos posteriores, esse mesmo autor publicaria mais trabalhos argumentando em favor das contribuições da História da Ciência para o Ensino de Ciências (Martins, 1990, 2006). Em artigo de 1990, suas contribuições foram endereçadas à formação em nível universitário, avaliando-se a pertinência da inserção da história da ciência para profissionais de carreiras não-científicas, científicas e professores. Para tais públicos, Martins (1990) defendeu que a História da Ciência promoveria uma formação cultural mais ampla por conta de abordar como a nossa cultura atual se constituiu, proporcionando, também, em alguma medida, uma compreensão sobre a natureza da pesquisa científica e sua relação com outras áreas, expondo formas alternativas de pensamento e fornecendo respostas ao que é ciência. No caso da formação de cientistas, a História da Ciência contribuiria para a compreensão da natureza da pesquisa científica, para a compreensão da estrutura e funcionamento da instituição científica, e para o planejamento científico, pois a análise do presente e do passado, em termos das dificuldades, tendências, objetivos, formas de estudo, etc., poderia conduzir a uma decisão mais fundamentada sobre o que pesquisar, quais técnicas e modelos empregar, etc. Finalmente, a história da ciência poderia apresentar ao futuro cientista uma opção profissional legítima, a saber, trabalhar como historiador da ciência (Martins, 1990).

Ao apontar argumentos específicos para a formação de professores de ciências, Martins (1990) defendeu que a História da Ciência poderia promover melhores compreensões do conteúdo científico, sobre ciência e também conhecimentos sobre como ensinar. Por meio da história, seria possível balancear os aspectos puramente técnicos, típicos da formação científica, com aspectos sociais, culturais e humanos, oferecendo assim uma nova visão sobre a ciência e os cientistas, e proporcionando maior motivação aos estudos. Além disso, permitiria compreender os resultados científicos atuais e seus significados, os quais são pouco intuitivos, mas considerados óbvios. Outro possível benefício para a formação docente seria oferecer

possibilidades para compreender as dificuldades de aprendizagem dos estudantes, tendo em vista concepções abandonadas pela História da Ciência, que poderiam facilitar o trânsito para compreensões aceitas atualmente. Finalmente, a abordagem histórica poderia se constituir em fonte de instrumentos e experimentos para aulas.

Martins (1990) ainda considerou que a disciplina de História da Ciência seria *pré-requisito* para outras disciplinas metacientíficas, como Filosofia da Ciência, Metodologia Científica, Política Científica e Tecnológica, etc., pelo fato de torná-las mais frutíferas e fundamentadas.

Mais de uma década depois, Martins (2006) manteve os argumentos centrais em torno das contribuições da História da Ciência, mas ofereceu maior detalhamento em relação aos aspectos sobre a natureza da ciência que os episódios históricos poderiam promover. Além disso, Martins (2006) reforçou a importância da História da Ciência no processo de ensino-aprendizagem e na postura do professor em relação às concepções dos estudantes:

As suas resistências [dos estudantes] são semelhantes às dos próprios cientistas do passado; e mesmo as suas ideias, por mais “absurdas” que pareçam, podem ser semelhantes às que foram aceitas em outros tempos por pessoas que nada tinham de tolas. Embora não haja um paralelo completo entre esses “conceitos prévios” e as concepções científicas antigas, [...] o estudante pode se preparar para aceitar que um processo semelhante ocorra com suas próprias ideias. Pode perceber que, na história, sempre houve discussões e alternativas, que algumas pessoas já tiveram ideias semelhantes às que ele próprio tem, mas que essas ideias foram substituídas por outras mais adequadas e mais coerentes com um conjunto de outros conhecimentos (Martins, 2006, p. xxvi).

A importância atribuída por Martins (2006) à História da Ciência em termos do paralelismo com ideias dos estudantes também foi vista com cuidado em outros trabalhos de pesquisa em Ensino de Ciências. Bizzo (1992) recomendou cautela aos educadores que estabelecem comparações entre compreensões dos cientistas do passado e as concepções dos estudantes, pois essas comparações podem incorrer numa compreensão simplista do conhecimento científico do passado, e sugerir uma postura de *inocentar* os cientistas do passado por não terem percebido a importância de outras teorias de seu tempo, em especial aquelas que as suplantaram posteriormente. De qualquer modo, Bizzo (1992) não rejeita o *paralelismo*, desde que não se acredite que o estudante segue os passos do cientista do passado, mas que sejam focalizados seus métodos, mais do que o conteúdo de suas descobertas.

Ainda que nosso enfoque majoritário reside na análise dos trabalhos publicados na forma de artigos, merece ser mencionada e descrita aqui a tese do físico e educador brasileiro João Zanetic, defendida em 1989, com o título *Física também é cultura* (Zanetic, 1989). Essa tese influenciou as gerações seguintes de pesquisadores da área de Ensino de Ciências (Forato *et al.*, 2014), tendo sido inclusive objeto de análise 20 anos depois de sua publicação, com o intuito de avaliar suas implicações para o Ensino de Física (Martins, 2009).

Em sua tese, Zanetic (1989) primeiramente descreveu e analisou o estado corrente do ensino de Física no Brasil, com especial interesse no ensino secundário (atual Ensino Médio). O objetivo desse nível de ensino era preparar os estudantes para os exames vestibulares para ingresso no Ensino Superior, contemplando, assim, os anseios e necessidades de uma pequena parcela dos estudantes. O ensino de Física se caracterizava por ser uma mera apresentação dos conceitos, leis, grandezas físicas e unidades de medida, focada essencialmente na solução de exercícios e problemas e sem qualquer prática experimental voltada à compreensão de conceitos, teorias e métodos. Ademais, a Física era apresentada como um conhecimento neutro, apolítico, sem história e sem relação com o cotidiano. Uma das consequências negativas de tal ensino era a forte rejeição dos estudantes à física escolar.

Zanetic (1989) argumentou que o ensino secundário deveria ter como objetivo a formação de estudantes que pudessem se autoeducar, tendo em vista que a maioria da população que concluía o ensino secundário não prosseguia os estudos, e que nenhum nível de ensino (básico, superior ou pós-graduado) poderia oferecer uma visão completa e definitiva sobre qualquer assunto. Mais importante ainda, segundo Zanetic (1989), era que essa educação deveria ser *problematizadora, crítica, ativa e engajada na luta pela transformação social*, ou seja, uma educação em Física comprometida com a construção de uma sociedade voltada para os interesses e necessidades da maioria da população.

Em vista disso, Zanetic (1989) defendeu que a formação dos cidadãos, como preconizada por ele, deveria incluir elementos *filosóficos, históricos e culturais*, primeiramente, na formação de professores e, posteriormente, no ensino de Física do nível básico. A História da Ciência, nosso objeto de interesse nesta seção, se justificaria para tal fim na medida que: (i) proporcionaria uma formação cultural mais ampla do cidadão; (ii) seria uma fonte de situações exemplares em torno da utilização da imaginação; (iii) permitiria a compreensão de como o conhecimento é construído,

com seus erros, acertos e indecisões – consequentemente, desmistificando e humanizando a prática científica; e (iv) orientaria a seleção dos conteúdos que compõem os currículos escolares.

Em anos mais recentes, historiadores da ciência brasileiros têm avaliado que a interface entre história e ensino ainda não se encontra bem delineada, devendo-se prezar pela discussão do processo de construção do conhecimento científico, orientada por tendências historiográficas atuais. Assim, uma relação fecunda entre História da Ciência e ensino não visa a contribuir somente para a contextualização dos objetos da ciência (Qual o papel da História da Ciência no ensino?), mas construir também abordagens didático-pedagógicas adequadas (Qual a melhor forma de abordar História da Ciência em sala de aula?) (Beltran & Saito, 2012; Saito, 2010). Retornaremos mais adiante às questões em torno de como abordar a História da Ciência, e às implicações dos vieses historiográficos adotados.

Em 2014, a revista da *Sociedade Brasileira de História da Ciência* publicou um dossiê intitulado “História das Ciências e Ensino de Ciências” com artigos de pesquisa em Ensino de Ciências cujo eixo condutor era a História da Ciência, contribuindo, assim, para a “consolidação da cooperação entre historiadores da ciência e educadores no âmbito da Sociedade Brasileira de História da Ciência” (Forato *et al.*, 2014, p. 140).

O artigo de Alvim e Zanotelo (2014) pode ser considerado como um exemplar desse dossiê. Os autores justificam que o Ensino de Ciências não deve se restringir ao desenvolvimento de habilidades e competências envolvidas na resolução de exercícios, mas deve propiciar que os estudantes construam uma cultura científica que os permita compreender “sobre o quê as ciências produzem, quais seus objetos de estudo, como elas se desenvolvem historicamente e como se relacionam no mundo contemporâneo com as esferas social, econômica e política” (p. 350).

A História da Ciência contribuiria para o ensino como uma *ferramenta didática*, se constituindo em veículo de reflexão para a formação de cidadãos por meio da análise da prática científica e da natureza da ciência. Alvim e Zanotelo (2014) frisam, ainda, que tais reflexões podem ser benéficas não só aos estudantes que não seguirão carreiras científicas, mas, também, a futuros cientistas, na medida em que tomarão consciência social sobre suas futuras atividades.

Por fim, apresentamos alguns trabalhos que discutem a importância da História da Química e suas contribuições para a Educação em Química realizadas no Brasil.

De maneira semelhante ao que aconteceu com a Educação em Ciências no Brasil, a partir da década de 1980 a Educação em Química experimentou franca ascensão, e aderiu ao discurso em favor de abordagens históricas na formação dos estudantes nos diferentes níveis de ensino. Isso pode ser constatado pela presença e discussão do tema História da Química desde o segundo *Encontro Nacional de Ensino de Química* (ENEQ)⁹, em 1984 (Beltran, 2013; Schnetzler, 2012).

Dentre os educadores em química que defenderam abordagens histórico-filosóficas, podemos citar Attico Chassot, engajado na constituição da área de Educação em Química no Brasil desde os primeiros anos. Em 1995, a criação da revista *Química Nova na Escola* (QNEsc), dirigida aos professores de Química e motivada pelos problemas de falta de significação do conhecimento químico por parte dos estudantes, apresentou desde sua primeira edição uma seção referente à História da Química, editada por Chassot. No expediente do primeiro volume, o conteúdo desta seção foi descrito do seguinte modo:

A história desta ciência, mostrando como é parte de um contexto maior, que não se resume à somatória da história das demais ciências e se entrelaça com outras histórias e com estas faz diferentes tessituras que constituem a própria história da humanidade e como essa história ajuda a educar através da química (Beltran, 1995, p. 1).

Chassot também assinaria o primeiro artigo da referida seção, destacando que ela teria como objetivo contar a história da construção do conhecimento científico (Chassot, 1995). Embora possamos vislumbrar, ainda que parcialmente, o papel da História da Química na formação dos estudantes, o mesmo autor detalharia isso em outros artigos, como, por exemplo, em Chassot (1998). Aqui ele defendeu que a História da Ciência seria uma *facilitadora da alfabetização científica do cidadão e da cidadã*. Ainda que não fique claro, em sua argumentação, como isso ocorreria, podemos inferir que Chassot (1998) está em ressonância com outros trabalhos que defendem que a compreensão sobre ciência, por meio de sua história, seria um elemento central para a alfabetização científica.

⁹O ENEQ, organizado por integrantes da Divisão de Ensino de Química da Sociedade Brasileira de Química (SBQ), tem por objetivo promover a pesquisa e a produção de conhecimentos na área de Educação em Química. Reúne pesquisadores e professores interessados em apresentar e discutir suas atividades de pesquisa e docência, permitindo, assim, a troca de experiências e disseminando resultados de pesquisas que podem resultar em renovações na prática docente em todos os níveis de ensino (Schnetzler, 2012).

Em trabalho recente, avaliando a produção dos últimos 20 anos da seção História da Química da QNEsc, Baldinato e Porto (2015) descrevem que diferentes objetivos foram apontados em prol da aproximação entre história da ciência e ensino, como, por exemplo, para promover a contextualização do conteúdo químico, a interdisciplinaridade, discussões sobre a natureza da ciência e também para aumentar o interesse dos estudantes. Apesar disso, o pequeno número de submissões de artigos para essa seção levou os autores a concluir que o número de profissionais dedicados à História da Ciência e da Química no Brasil ainda é restrito, consequência de os primeiros programas de pós-graduação em História da Ciência remontarem a um passado recente, a saber, à década de 1990.

Diante desse panorama quanto aos argumentos em favor da incorporação da História da Ciência ao Ensino de Ciências, apresentados por diferentes autores, em diferentes lugares e em diferentes momentos, constata-se que as razões apontadas se basearam, principalmente, na promoção de melhores compreensões sobre a ciência entre estudantes dos mais diferentes níveis de ensino, sendo que seu papel envolveria *contextualizar* as compreensões pretendidas.

1.2.2. Razões contrárias à inserção da História da Ciência no ensino (e contra-argumentos)

Embora, ao longo das décadas, uma diversidade de razões favoráveis à inserção da abordagem histórica no Ensino de Ciências tenham sido apontadas, razões contrárias à sua inserção também foram apresentadas. É possível que tais críticas não fossem contra a História da Ciência em qualquer circunstância, mas visassem explicitar aspectos importantes que merecem reflexão por parte daqueles que desejam utilizá-la.

O historiador da ciência Stephen Brush (1974) apresentou o argumento de Conant, que se notabilizou pelos cursos de História e Filosofia da Ciência em Harvard, de acordo com quem a História da Ciência poderia ajudar nas atribuições do cientista fora do laboratório, mas pouco ou nada ensinaria sobre os métodos que ele precisaria dominar para produzir novos conhecimentos.

Nessa mesma linha de argumentação, o físico Sánchez-Ron (1988) – embora defendendo a utilização da História da Ciência com estudantes em nível pré-

universitário e na formação de professores de ciências – rejeitou ou, no mínimo, deixou em dúvida, sua pertinência para a formação de cientistas. Não lhe pareceu que o objetivo comumente atribuído à História da Ciência, a saber, proporcionar melhor compreensão de suas disciplinas aos futuros cientistas, seria factível, visto que os conceitos, teorias e métodos abordados no contexto histórico não são os mesmos empregados pelos cientistas contemporâneos para produzir novos conhecimentos. Além disso, compreensões abandonadas podem resultar em dificuldades na compreensão das teorias em voga¹⁰. Para Sánchez-Ron (1988), o objetivo de formar profissionais com conhecimento adequado do estado atual de sua disciplina, ainda que envolva fomentar a criatividade, originalidade e a dúvida metódica, não pode ocorrer à custa do conteúdo da própria disciplina.

Pode-se contra-argumentar que o problema de tal crítica reside na delimitação dos objetivos educacionais em torno da abordagem histórica. Mesmo que uma disciplina de História da Ciência na formação de cientistas não resulte na compreensão das ideias atuais da ciência, ela pode, desde que concebida para tal fim, contribuir com outros aspectos igualmente importantes na formação dos cientistas. Diante disso, a rejeição da História da Ciência no ensino sob a justificativa de um único objetivo atribuído a ela não nos parece suficientemente decisiva, pois devemos levar em conta outros objetivos possíveis de acordo com o público, e analisar as implicações envolvidas para alcançá-los.

Argumentos de outra natureza foram expostos pelo físico e historiador Martin Klein (1972 *apud* Brush, 1974; Matthews, 1995), o qual apontou que a simplificação de casos históricos tendo em vista objetivos educacionais pode resultar em mitos e anedotas que não seriam reconhecidas por um historiador como *história*¹¹. Historiadores se preocupam em detalhar seus estudos de caso históricos, de maneira que, ao serem transpostos ao ensino haveria, necessariamente, perdas. Não obstante, professores empreendem tal seleção, ainda que implicitamente, orientados por um conjunto de objetivos educacionais. A transposição pode se tornar ainda mais problemática caso o docente vise a ensinar as teorias e técnicas modernas mais

¹⁰Essa dificuldade pode ocorrer não só com futuros cientistas, mas também, e talvez em maior grau, com estudantes da educação básica que estão iniciando seus estudos em ciências.

¹¹Brush (1974) explicita que *história* não se trata meramente de um registro de fatos, mas *interpretações* propostas de tempos em tempos pelos historiadores a respeito de eventos como, por exemplo, o modo como uma descoberta foi realizada, quais razões levaram a uma teoria ser aceita ou rejeitada pelos cientistas de uma época, etc.

efetivamente e, portanto, selecione no passado apenas os aspectos que *parecem* justificá-las. Por conta disso, Klein (1972) se opôs à História da Ciência no ensino se ela simplificar a “história real”, resultando necessariamente em uma história de qualidade duvidosa.

As objeções de Klein (1972) foram contra-argumentadas pela educadora em ciências Olimpia Lombardi (1997), que concentra sua exposição nas questões da *simplificação da história* e da *interpretação de fatos históricos*, as quais se encontram imbricadas. A argumentação de Klein (1972) supõe uma situação de oposição e conflito entre, de um lado, o emprego da História da Ciência por educadores, que se caracterizaria por ser menos precisa e de qualidade duvidosa devido às omissões do relato histórico e, do outro, a História da Ciência escrita por historiadores, a qual se caracterizaria por ser um relato complexo e exaustivo (sem omissões).

Segundo Lombardi (1997), a alegada distinção entre uma história com omissões dos educadores, e uma história sem omissões dos historiadores, se baseia numa compreensão simplista quanto à natureza da pesquisa histórica. Assim como os educadores, historiadores também estabelecem delimitações e selecionam o que desejam estudar, de acordo com as questões de pesquisa que visam responder. Dado que diferentes delimitações e seleções podem ser adotadas para um mesmo evento histórico, diferentes relatos históricos podem ser produzidos e, por sua vez, se constituir em *diferentes interpretações históricas*. Diante disso, não haveria um relato produzido por um historiador da ciência que contemplasse tudo o que se poderia dizer sobre um evento selecionado. Não se rejeita que educadores empreendam uma nova seleção, resultando, portanto, em omissões, quando empregam relatos históricos produzidos por historiadores da ciência. A seleção se justifica por conta dos objetivos que os educadores têm ao empregar a História da Ciência. Seus objetivos são diferentes em relação aos dos historiadores e, também, não almejam a mesma profundidade e detalhamento, já que a pretensão não é formar futuros historiadores (Lombardi, 1997).

As discussões acerca da pertinência ou não da inserção da História da Ciência no Ensino de Ciências perpassam questões de outra natureza, a saber, *qual perspectiva historiográfica* deve orientar a abordagem levada ao Ensino de Ciências, e *como* superar ou minimizar os desafios, obstáculos, tensões e dificuldades envolvidos em sua implementação. Nas próximas seções discutiremos essas duas dimensões.

1.2.3. Qual perspectiva historiográfica pode ser levada ao ensino?

Um número crescente de autores, no Brasil e no exterior, tem defendido a importância de instrumentalizar os educadores interessados em levar a História da Ciência para o ensino de acordo com os pressupostos delineados pela *contemporânea historiografia da ciência*¹² (Allchin, 2004a; Alvim & Zanotelo, 2014; Baldinato & Porto, 2015; Beltran, 2013; Brush, 1974; Forato *et al.*, 2014; Forato, Pietrocola, & Martins, 2011b; Lombardi, 1997; Porto, 2010). Isso implica na compreensão de diferentes modos possíveis para narrar e *interpretar* os eventos históricos e, quando direcionados ao ensino, podem contemplar distintos objetivos educacionais. Além disso, tendo em vista o reconhecido objetivo atribuído à História da Ciência de promover melhores compreensões sobre a ciência, é crucial estar ciente da visão de ciência transmitida por uma dada perspectiva historiográfica.

Em linhas gerais, a historiografia tradicional da Ciência (ou antiga historiografia da ciência), proeminente na primeira metade do século XX, buscava anacronicamente no passado os elementos que constituem a ciência atual, desconsiderando os contextos científicos, sociais, históricos, religiosos, etc., e, também, desconsiderando fatores vistos pela ciência do presente como não científicos e irracionais. O resultado disso era a seleção e encadeamento das ideias do passado que culminariam na ciência atual, sugerindo uma visão linear e acumulativa do conhecimento científico, segundo a qual as ideias sucederiam umas às outras de maneira não-problemática e progrediriam em direção à verdade (Alvim & Zanotelo, 2014; Lombardi, 1997; Martins, 2002).

Essa perspectiva historiográfica se manifestou de diferentes modos no Ensino de Ciências ao longo do século XX. Brush (1974) avaliou que a História da Ciência presente em livros didáticos de sua época reforçava uma imagem da ciência como um empreendimento inteiramente racional, no qual cientistas são sempre abertos e

¹²As discussões que se seguem baseiam-se, majoritariamente, em compreensões da historiografia da ciência divulgadas no âmbito de trabalhos direcionados à Educação em Ciências. Não aprofundaremos aqui as discussões realizadas por historiadores da ciência no âmbito de sua própria disciplina, que podem ser encontradas em referências da área (Alfonso-Goldfarb, Ferraz & Beltran, 2004; Debus, 1991; Martins, 2005). Além disso, esclarecemos que adotamos aqui uma distinção entre *historiografia* e *história*. Esta se refere a um conjunto de situações e acontecimentos oriundos da atividade humana desenvolvidas no passado, que independem do historiador e são seu objeto de estudo. O produto do estudo do passado realizado por historiadores chama-se historiografia, não sendo uma simples descrição, envolvendo também interpretações do passado de acordo com seus pressupostos metodológicos, problema de pesquisa, objetivos, fontes de pesquisa acessadas, etc. (Martins, 2005).

flexíveis, procedem rigorosamente de acordo com o método científico, fundamentam-se apenas em resultados experimentais controlados e buscam objetivamente a verdade.

Whitaker (1979a, 1979b) descreveu uma abordagem histórica amplamente disseminada em livros didáticos de Física, chamada por ele de *quasi-história*¹³, a qual reescreve a história dessa disciplina em termos lógicos e ordenados, tal como se compreende a disciplina de Física. Transmite-se, por consequência, a visão de que as ideias se desenvolveram historicamente de modo lógico e ordenado, sendo os novos conhecimentos aceitos prontamente devido à sua indubitável verdade.

Mais recentemente, Allchin (2004) alertou a respeito da *pseudo-história*, que (re)constrói os episódios históricos de maneira seletiva, isto é, negligenciando aspectos importantes por alguma razão (filosófica, ideológica, etc.), ou mesmo por desconhecimento ou ingenuidade. Essa abordagem se caracteriza por romancear o cientista, tratando-o como herói na medida em que destaca suas virtudes e oculta seus erros ou condutas consideradas inapropriadas de acordo com critérios aceitos atualmente (perspectiva *hagiográfica*¹⁴). A pseudo-história atribui contornos dramáticos às descobertas, descritas como tendo sido feitas à margem de tudo e todos, por meio de *insights* do tipo *eureka*; e também subestima a complexidade do processo científico, ao delinear que um encadeamento de certos eventos conduziu a certos resultados, sendo um caminho lógico e o único possível.

No âmbito do Ensino de Ciências, essa perspectiva historiográfica cumpriria o papel de simplificar a prática científica. A História da Ciência se resumiria a pouquíssimos cientistas do passado, brilhantes e trabalhando isoladamente, os quais teriam elaborado suas bem-sucedidas teorias a partir dos fenômenos naturais. A ênfase nas conquistas científicas justificaria tanto os investimentos em ciência quanto o seu ensino à população em geral (Alvim & Zanotelo, 2014). Além disso, tal perspectiva seria conveniente para os propósitos educacionais se o objetivo fosse ensinar *apenas* os princípios e técnicas científicas, bem como sua aplicação (Whitaker, 1979a, 1979b).

¹³Whitaker (1979a) destaca que sua compreensão da *quasi-história* se aproxima da *reconstrução racional* da história, proposta pelo filósofo da ciência Imre Lakatos (1970). Porém, enquanto essa última é orientada explicitamente por uma dada abordagem filosófica que se pretende defender, a *quasi-história*, segundo Whitaker (1979a), não necessariamente se sustenta em um eventual ideário filosófico daqueles que a empregam. O uso da *quasi-história* se dá por razões educacionais, motivado pelo desejo de fornecer alguma base histórica ao conteúdo científico estudado.

¹⁴Hagiografia, em seu significado original, refere-se à biografia de santos.

Não se pode negar que tal abordagem historiográfica no âmbito do Ensino de Ciências possuía objetivos próprios e condizentes com o contexto da época (científico, educacional, filosófico, etc.). Em alguma medida, esse tipo de abordagem seria eficaz no que se propunha, tal como descreve o físico e filósofo da ciência Thomas Kuhn (1922-1996), em seu livro de 1962, *A Estrutura das Revoluções Científicas*. Kuhn descreveu que o papel dos livros didáticos (ou manuais científicos) na formação de futuros cientistas seria apresentar “o resultado estável das revoluções passadas” e, portanto, não precisariam proporcionar “informações autênticas a respeito do modo pelo qual essas bases foram inicialmente reconhecidas e posteriormente adotadas pela profissão” (Kuhn, 2009, p. 176)¹⁵.

A História da Ciência seria deturpada com o intuito de justificar o *paradigma vigente*, pois os futuros cientistas seriam conduzidos a interpretar uma versão da história que apresenta os cientistas do passado como se eles estivessem trabalhando em problemas que os próprios aprendizes enfrentarão. Essa deturpação se justificaria na medida em que proporcionaria aos futuros cientistas a sensação de fazerem parte de uma tradição bem-sucedida na busca pela “verdade”, e com mais rapidez os tornaria especialistas na resolução dos “quebra-cabeças” da ciência normal.

Assim, a distorção da História da Ciência se justificaria pela maior eficácia na formação de cientistas, pois os estudantes não seriam apresentados a considerações alternativas para lidar com problemas, conceitos e padrões oriundos de paradigmas suplantados, os quais poderiam confundi-los e dificultar a aprendizagem do paradigma vigente.

Siegel (1979) questiona essa consequência atribuída à apresentação de paradigmas antigos aos estudantes, entendendo que a discussão histórica pode, ao contrário do alegado, promover uma visão mais ampla e crítica dos estudantes a respeito do paradigma vigente. Sua comparação com os paradigmas anteriores pode salientar sua força, em especial por destacar os motivos que levaram ao emprego dos paradigmas hoje superados e por quais razões foram descartados, ao mesmo tempo em que permite ao estudante vislumbrar o caráter falível do paradigma em voga. Siegel (1979) acrescenta que uma visão não distorcida da história da ciência é um

¹⁵Avaliamos que a argumentação de Kuhn se pretendia mais descritiva do que normativa, ou seja, podemos interpretar que ele não estava defendendo essa abordagem histórica como a *melhor* possível, mas avaliando seus méritos e limitações.

requisito de honestidade, pois devemos apresentar aos estudantes a melhor visão histórica disponível¹⁶.

Concordamos com o argumento de Siegel (1979), mas ele não refuta o argumento de que a apresentação de paradigmas antigos, para públicos que estão iniciando seus estudos em ciência, pode confundir os estudantes, devido à diferença na linguagem empregada, por exemplo. O próprio Kuhn argumenta que, na mudança de paradigmas, muitas vezes os nomes dos conceitos se mantêm, mas seus significados mudam. A dificuldade é maior quando a distância para a ciência atual é tão grande (como, por exemplo, no caso da alquimia em relação à química moderna) que não existem análogos atuais simples e diretos que ajudem a compreender os conceitos antigos.

Diante disso, se incluímos também, entre os objetivos educacionais, uma compreensão sobre o significado da abordagem científica, sua mudança ao longo do tempo, sua caracterização como atividade humana, a caracterização dos cientistas e o entendimento de aspectos processuais da ciência, isto é, se consideramos como objetivo educacional um aprendizado *sobre* ciência, a quasi-história, a pseudo-história, ou qualquer perspectiva pautada consciente ou inconscientemente na antiga historiografia da ciência, podem ser insuficientes ou mesmo contrárias aos objetivos almejados (Whitaker, 1979a, 1979b).

Independente de haver ou não intenção, a abordagem histórica adotada contribui para a construção de uma dada visão sobre a ciência. Sendo assim, é importante que os educadores tenham isso em vista ao escolher a abordagem histórica, avaliando *qual* visão sobre ciência ela pode sugerir e, também, se está de acordo com os objetivos educacionais pretendidos.

O que se defende, com a adoção da contemporânea historiografia da ciência, é uma interpretação do passado em termos *diacrônicos*, pela qual os acontecimentos do passado são avaliados de acordo com o contexto da época, isto é, levando-se em conta as crenças, teorias, metodologias, etc., vigentes no período em questão. Apesar

¹⁶Siegel (1979) aponta também que a distorção da História da Ciência, tal como descrita por Kuhn, conduz à visão de que os cientistas do passado buscavam responder questões idênticas às atuais, contrariando a ideia de que os problemas são gerados no seio de cada paradigma, sendo específicos e contextuais. Além disso, a referida distorção sugere que as teorias mudam somente quando uma evidência refutadora é descoberta, sugerindo que a teoria é dependente da observação, sendo que esta, de fato, é guiada pela teoria, que estabelece quais observações são legítimas e quais não são. Finalmente, outra implicação seria a de que a aceitação de uma teoria se dá somente quando ela é claramente superior às anteriores em seus fundamentos científicos, não se levando em conta a influência de outros fatores, como os de natureza social e psicológica.

dessa orientação, é preciso esclarecer que uma interpretação totalmente diacrônica é um ideal, pois quem interpreta o passado não pode se descolar de seu próprio contexto e tampouco se inserir em plenitude no contexto investigado. Além disso, certo anacronismo pode ser necessário para que o conhecimento histórico se torne inteligível a públicos mais amplos (Lombardi, 1997).

Assim sendo, torna-se importante explicitar que não existe uma *única* maneira de escrever a história, havendo múltiplas interpretações de acordo com a *construção histórica* adotada. Historiadores contemporâneos podem interpretar um mesmo evento de diferentes modos, assim como diferentes gerações de historiadores podem também interpretá-lo de maneiras diversas entre si. As diferentes interpretações podem ser oriundas das decisões de pesquisa tomadas pelos historiadores (objetivos das pesquisas), seus pressupostos historiográficos, concepções sobre ciência, contexto histórico-social em que se encontram, suas ideologias, etc. (Lombardi, 1997).

Portanto, argumenta-se pela pertinência de se discutir explicitamente com professores de ciências questões ligadas às diferentes correntes historiográficas, de maneira que possam adotar conscientemente o tipo de História da Ciência que contemple os objetivos educacionais almejados. Isso não deve ser feito no sentido de julgar qual é, por si só, a melhor corrente, mas destacar as características de cada uma delas e compreender as imagens sobre a *natureza da ciência* que transmitem. A perspectiva historiográfica pode influenciar a imagem sobre ciência desenvolvida pelos estudantes, mesmo se isso não for desejado conscientemente pelo professor (Alvim & Zanotelo, 2014; Baldinato & Porto, 2015; Lombardi, 1997). Os argumentos em favor de discussões relativas à historiografia, ainda que não em mesmo nível de profundidade que aquelas feitas por historiadores profissionais, “devem-se menos a um preciosismo histórico em si, e voltam-se muito mais à preocupação sobre a visão de ciência que tais versões fomentam em professores e estudantes” (Forato *et al.*, 2011b, p. 36).

As discussões historiográficas podem, ainda, ter outro valor pedagógico, no sentido de promover uma compreensão da dificuldade envolvida na interpretação de textos e fontes históricas, as quais assumem diferentes significados. Discutir o que está por trás das diferentes interpretações, e o que leva um autor a adotar uma delas e não outra, pode ser útil para formação do espírito crítico (Lombardi, 1997).

A explicitação de diferentes perspectivas historiográficas e suas implicações para o ensino-aprendizagem é crucial, porém não resolve todos os desafios, dificuldades,

obstáculos, tensões, etc., relacionados à aproximação entre História da Ciência e Ensino. Outros aspectos serão focalizados na próxima seção.

1.2.4. Desafios e obstáculos envolvidos em levar a História da Ciência para a sala de aula

Forato, Martins e Pietrocola (2011) apontam os desafios, obstáculos e riscos assumidos pelos educadores que desejam elaborar e implementar propostas aproximando a História da Ciência do Ensino de Ciências. Um projeto que se proponha a promover essa aproximação se inicia com a delimitação do *propósito educacional* e dos *aspectos epistemológicos* que se deseja abordar (Forato e colaboradores [2011] empregam a abordagem histórica para discutir a *natureza da ciência*). Segundo esses autores, os seguintes elementos devem ser considerados, e tornam-se desafios na medida em que a avaliação de cada um deles resulta em certas escolhas e ações, em detrimento de outras:

- *Seleção do conteúdo histórico*: envolve a avaliação do conteúdo histórico de acordo com sua pertinência em relação aos objetivos e aspectos epistemológicos que se pretende abordar; envolve também sua adequação ao ambiente educacional, isto é, o conteúdo deve ser inteligível aos estudantes e factível de ser abordado pelo professor, tendo em vista sua formação e conhecimento sobre o tema;
- *Tempo didático*: diz respeito ao tempo disponível para abordar o conteúdo selecionado, tanto do ponto de vista do ensino (número de aulas) quanto da aprendizagem (tempo necessário para a compreensão pelos estudantes);
- *Nível de aprofundamento*: implica na avaliação de quais detalhes devem ser enfatizados e quais devem ser omitidos, sem comprometer a qualidade da narrativa, os objetivos que se pretende e sua adequação ao contexto educacional;
- *Relativismo*: a discussão sobre ciência a partir do caso histórico não deve sugerir a ausência de parâmetros objetivos;
- *Inadequação de trabalhos históricos especializados*: por não se dirigirem à formação de estudantes de ciências, os trabalhos produzidos por especialistas em História da Ciência devem passar por um processo de didatização para torná-los compreensíveis e atraentes aos estudantes;

- *Uso ingênuo da história:* pode contrariar os objetivos do ensino na atualidade, conforme discutido anteriormente, acerca da abordagem orientada pela antiga historiografia da ciência;

- *Formação do professor,* ou a falta de formação em relação à História da Ciência: este é o principal desafio, pois o professor necessita estar instrumentalizado com elementos que o habilitem a lidar com todos os desafios mencionados.

A formação de professores preparados para utilizar a abordagem histórica em sala de aula é condição necessária, ainda que não suficiente, para a sua concretização. No contexto universitário brasileiro, Martins (1990, 2006) aponta que um número reduzido de docentes tem formação adequada para lecionar disciplinas de História da Ciência. Mudar tal situação requer mais cursos de pós-graduação em História da Ciência, maior troca de conhecimentos entre pesquisadores nacionais e internacionais da área, mais grupos, departamentos e centros de pesquisa na área¹⁷.

Há que se destacar, também, que a maioria dos cientistas envolvidos em disciplinas relacionadas à Educação em Ciências, no contexto universitário, tem uma posição, na melhor das hipóteses, indiferente em relação à História e a Filosofia da Ciência. O tempo despendido com atividades científicas e administrativas pode restringir as possibilidades de uma preparação adequada em tais campos: assim, sem treinamento e autoconfiança para lecionar sobre temas de História e Filosofia da Ciência, os cientistas dificilmente poderão ir além de seus limites profissionais (Holton, 2003).

A formação de professores para lidar com a interface entre a História da Ciência e o Ensino envolve obstáculos diversos. Professores em formação inicial ou continuada podem considerar que a história tem pouca relevância diante de problemas contemporâneos e futuros, por se referir a conhecimentos já superados. A crescente produção de conhecimentos pela ciência contemporânea pressiona os professores a se manterem sempre atualizados, reforçando a concepção de que a história teria pouco a contribuir (Klopfer, 1969). Tais concepções desconsideram os

¹⁷No Brasil, iniciativas tais como a recomendada por Martins (1990, 2006) têm sido feitas, por exemplo, pelo Programa de Estudos Pós-Graduados em História da Ciência da PUC-SP, iniciado em 1997, e que nos últimos anos tem promovido eventos discutindo o papel da História da Ciência no ensino. Docentes desse Programa criaram, em 2010, o periódico *História da Ciência e Ensino: construindo interfaces*, destinado a apresentar tendências e propostas que possam contribuir para o aprimoramento do diálogo entre as duas áreas (Saito, 2010).

objetivos da abordagem histórica no ensino, os quais precisam ser explicitados no âmbito da formação inicial e continuada de professores.

Também os exames de seleção para o ingresso no ensino universitário influenciam os conteúdos que os professores selecionam e ensinam aos seus estudantes na educação básica. Dado que ideias provenientes de discussões fundamentadas na História da Ciência não são contempladas nesses exames ou, quando isso ocorre, são de natureza meramente ilustrativa, tem-se aí mais um obstáculo à implementação de abordagens históricas no ensino de ciências (Forato *et al.*, 2014; Martins, 2007).

Não se pode minimizar, ainda, o peso da cultura escolar e sua resistência a inovações, pois mesmo professores instrumentalizados para a abordagem histórica, e motivados para implementá-la, enfrentam dificuldades, tais como as obrigações curriculares e a necessidade de justificar para outros professores e direção, bem como para seus estudantes, que o que estão fazendo ainda é ensinar ciências (Martins, 2007).

A pouca proficiência em línguas estrangeiras dos professores em formação torna necessário o uso de materiais adequados (livros, artigos, etc.) em português, sendo este um reconhecido problema. Muitas vezes, o problema não reside na *quantidade*, pois um levantamento rápido resultará em número significativo de materiais, mas em sua *qualidade*. Os materiais disponíveis em língua portuguesa apresentam, comumente, informações históricas inadequadas do ponto de vista da contemporânea historiografia da ciência, e transmitem visões sobre a natureza da ciência tais como as ideias de que são os grandes gênios que fazem a ciência, as descobertas são aceitas imediatamente e sem discussão, entre outras. Isso seria motivado pela falta de formação especializada em História da Ciência de seus autores. Por isso, a pesquisa em História da Ciência e sua aproximação ao ensino deve fundamentar a produção e o uso de recursos didáticos que privilegiem essa abordagem (Martins, 2006).

A partir do contexto brasileiro, Forato, Guerra e Braga (2014) sintetizam os desafios envolvidos na implementação consistente da História da Ciência no Ensino de Ciências, que envolvem não só a produção de materiais didáticos, construção de episódios históricos para o ensino, propostas didáticas e formação de professores, mas, também, a criação de mecanismos pelos quais o conhecimento produzido adentre as salas de aula.

A aproximação entre historiadores da ciência e educadores em ciências (pesquisadores e professores) deve reconhecer as diferenças significativas no que diz respeito à preparação profissional, preocupações, sistemas de recompensa, periódicos e sociedades profissionais de cada um dos campos e seus especialistas. A falta de apoio institucional, no contexto acadêmico, para relações sinérgicas entre diferentes culturas pode resultar em dificuldades para a interação entre os campos (Holton, 2003).

Holton (2003) sugere medidas que podem ser tomadas para superar alguns desses obstáculos, tendo como principal motivação a diminuição da distância entre historiadores e educadores em ciências:

1. Promover encontros entre as sociedades profissionais que reúnam historiadores e educadores em ciências. Considerando os encontros que já ocorrem de maneira independente, sua programação em um mesmo lugar e com audiência compartilhada poderia promover trocas entre os campos;

2. Desenvolvimento e divulgação de modelos sobre como diminuir a distância entre as duas culturas, que pode ter efeito multiplicador se forem conduzidos por especialistas reconhecidos de cada uma das culturas;

3. Publicações em periódicos e anais de congressos descrevendo a importância de um campo para o outro, sendo que pesquisadores de um campo publicariam seus trabalhos em instâncias do outro;

4. Reconhecimento, tanto por parte de historiadores quanto de educadores, que os currículos nacionais legitimam e destacam a importância da História da Ciência como elemento importante na formação dos estudantes;

5. Produção de materiais para a sala de aula, tais como livros didáticos, artigos, filmes e *websites* que exemplifiquem a aproximação entre as duas culturas.

As medidas sugeridas por Holton (2003) têm sido implementadas lentamente nas últimas décadas no contexto nacional e internacional. A grande dificuldade, ainda, reside na distância entre os pesquisadores e os professores que estão nas salas de aula de todos os níveis, especialmente no ensino básico.

Nota-se, também, que boa parte dos obstáculos mencionados, bem como algumas sugestões para sua superação, valem, com as devidas adequações, para as abordagens filosóficas e sociológicas que serão focalizadas nas próximas seções. Para concluir esta seção referente à História da Ciência no ensino, apresentamos brevemente algumas recomendações e estratégias de como abordar essa interface.

1.2.5. Algumas recomendações e estratégias de como abordar a História da Ciência no ensino de Ciências

A seleção do conteúdo histórico implica em se considerar também como ele será incluído e abordado no contexto do ensino. Podemos identificar duas tendências de inclusão da História da Ciência desenvolvidas e aplicadas ao longo da segunda metade do século XX no Ensino Básico e Superior: a abordagem *integrada*, na qual a história estruturaria todo o conteúdo científico, de modo que os conceitos, metodologias e práticas seriam tratados de acordo com suas origens e transformações ao longo do tempo; e a abordagem *inclusiva*, feita de maneira pontual, por meio de episódios históricos inseridos em um curso de ciências padrão (Prestes & Caldeira, 2009).

A abordagem integrada teve seu apogeu entre as décadas de 1950 a 1970, quando o *Harvard Project Physics* se caracterizou como um exemplo. Por conta da dificuldade de implementação da abordagem integrada – que requer maior preparação em relação a cursos de ciência não-históricos, necessitando de conhecimentos aprofundados em História da Ciência, construção e adequação didática dos conteúdos a serem abordados pelo viés histórico – observou-se, nas décadas posteriores, que a abordagem inclusiva teve maior disseminação. O principal benefício da abordagem inclusiva é proporcionar maior autonomia ao professor, a quem caberia julgar quando a inserção da abordagem histórica é mais pertinente e adequada aos seus objetivos educacionais (Prestes & Caldeira, 2009).

Para além das dificuldades de implementação da abordagem integrada, a preferência pela abordagem inclusiva foi motivada pelo reconhecimento, entre os educadores, de que a História da Ciência não deveria se tornar *metodologia de ensino*. O objetivo não seria ensinar *história*, ou seja, ela não deveria ser encarada como um *fim*, mas como um *meio* para ilustrar e promover discussões sobre a ciência e seus conteúdos (Klopfer, 1964; Saito, 2010).

Considerando a abordagem histórica como *meio*, o reconhecimento de diferentes modos de abordar a História da Ciência pode contribuir para seu uso frutífero. Como salientou Klopfer (1969), pouco ou nada pode ser discutido a partir de uma História da Ciência centrada apenas em nomes, anos de nascimento e morte, e as principais realizações feitas pelos cientistas, ou seja, uma *abordagem factual da história da*

ciência. Nesse sentido, uma abordagem baseada exclusivamente em linhas temporais de sucessão simples e não-problemáticas, referentes à evolução dos conceitos científicos, guiadas por respostas simples à questão “Quem descobriu?”, se restringe a objetivos pontuais e limitados, tais como a motivação dos estudantes. Além disso, uma abordagem como essa pode transmitir concepções indesejáveis sobre a ciência, sugerindo que as descobertas são feitas por gênios isolados, que os problemas e respostas são os mesmos em diferentes contextos espaço-temporais, ou que a aceitação de novas ideias se deu por simples acumulação de observações e resultados experimentais.

Em vista das implicações dessa abordagem histórica, há que se adotar outra, que leve os estudantes a compreender as dificuldades, obstáculos e os contextos nos quais as mudanças ocorreram, e compreender que os estudiosos, filósofos naturais e cientistas utilizavam de maneira coerente os conhecimentos de seu meio e época, os quais não são iguais aos nossos (Gagliardi & Giordan, 1986). Exemplos de abordagens pouco produtivas e que podem resultar em concepções não pretendidas em torno da História da Ciência incluem:

- Ensino *cronológico* da História da Ciência: baseia-se na apresentação de nomes de cientistas famosos e na sequência em que as descobertas foram feitas. Pouco contribui para o ensino sobre ciência, contribuindo apenas para os estudantes conhecerem coleções de fatos;
- Ensino por meio de *anedotas*¹⁸ (reais ou inventadas) sobre os cientistas: busca manter ou atrair a atenção dos estudantes por meio do relato de uma situação, comportamento ou ação do cientista, que seria incomum ao que o estudante esperaria. Por exemplo, Arquimedes correndo nu pelas ruas de Siracusa, gritando “Eureka!”. Pode resultar, contudo, na transmissão de uma visão distorcida sobre a ciência e os cientistas;
- Ensino *autoritário* da História da Ciência: invoca o peso de autoridades consagradas para reprimir dúvidas e impor doutrinas, como, por exemplo, a Gravitação Universal é verdadeira porque Newton provou. Torna-se contrária ao objetivo de ensinar sobre a natureza do conhecimento científico, que envolve argumentações e contra argumentações (Martins, 1990b).

¹⁸O Dicionário Eletrônico Houaiss expressa o seguinte entendimento para *anedota*: “particularidade curiosa ou jocosa que acontece à margem dos eventos mais importantes de um determinado personagem ou acontecimento histórico”.

Além das diferentes abordagens, é relevante analisar também as estratégias de ensino utilizadas para aproximar a História da Ciência do ensino. As estratégias podem incluir a leitura de textos originais produzidos pelos cientistas, estudos de caso, biografias, autobiografias, etc., cada uma das quais com seus contextos próprios de aplicação, forças e fraquezas particulares, podendo ser complementares entre si.

Dentre as estratégias possíveis, destacamos os estudos de caso históricos, que têm sido recomendados principalmente por historiadores da ciência e educadores com formação nesse campo¹⁹. Os estudos de caso possibilitam um aprofundamento do processo histórico em torno da construção do conhecimento científico, centrando a atenção em um personagem, conceito, ou acontecimento científico, por meio da consulta a fontes primárias (trabalhos produzidos pelos próprios cientistas, tais como artigos, livros, autobiografias, etc.) e fontes secundárias (trabalhos produzidos por historiadores da ciência) (Allchin, 2004a; Baldinato & Porto, 2015; Klopfer, 1964). Os estudos de caso podem ser entendidos como um contraponto às *histórias panorâmicas*, que abrangem séculos da História da Ciência – por exemplo, iniciando nos gregos e chegando na ciência atual. Diferentemente dos estudos de caso, histórias panorâmicas prezam mais pela amplitude do que pela profundidade. Porém, podem ser consideradas úteis se o intuito for atrair ou prender a atenção de quem inicia seus estudos em História da Ciência, ou seja, como estratégia preliminar para motivação dos estudantes²⁰.

Ainda que orientada pelos critérios da contemporânea historiografia da ciência, a elaboração de estudos de caso históricos envolverá tensões, dilemas e conflitos inevitáveis quanto ao que de fato será apresentado e desenvolvido com estudantes, sendo necessário avaliar os seguintes aspectos: *extensão vs. profundidade*;

¹⁹Allchin (2004a) sugere que os professores devem se tornar especialistas em pelo menos um estudo de caso histórico, e posteriormente o adaptem para seus estudantes. A experiência adquirida através de um estudo de caso bem desenvolvido poderia levar os professores a ampliar seu repertório, capacitando-os a conceber novos estudos de caso. Embora reconheçamos a importância dessas ações para a formação dos professores, entendemos que o desenvolvimento de um único estudo de caso pode não ser suficiente, dada a complexidade das questões historiográficas, para alcançar a autonomia desejada por Allchin (2004).

²⁰É importante destacar que estudos de caso e histórias panorâmicas são frutos de diferentes perspectivas historiográficas, e transmitem diferentes compreensões sobre a ciência. Por exemplo, os estudos de caso podem evidenciar conflitos e rupturas como parte constituinte da ciência, enquanto a história panorâmica sugere uma visão linear e acumulativa do conhecimento científico. Concordamos com a opinião de Baldinato e Porto (2015), que ressaltam o caráter motivador como aspecto positivo da história panorâmica apesar de sua inadequação em termos da historiografia contemporânea, pois o próprio autor desta tese iniciou seu interesse pela História da Ciência, muitos anos atrás, justamente a partir de histórias panorâmicas.

simplificação vs. distorção; compreensibilidade vs. rigor histórico; e objetivismo vs. subjetivismo. A exacerbação de qualquer dos polos resultará em perdas e consequências peculiares, tanto na construção do estudo de caso quanto na forma de abordá-los com os estudantes. As escolhas irão depender do contexto em que o caso é utilizado e dos objetivos pedagógicos e epistemológicos (Forato, Pietrocola, & Martins, 2011).

1.3. A Filosofia da Ciência na Educação em Ciências

1.3.1. Razões para a implementação da Filosofia da Ciência no ensino

De modo semelhante à História da Ciência, abordagens filosóficas no ensino foram defendidas de modo sistemático na primeira metade do século XX, com crescente interesse e discussão na segunda metade do século, ainda que não acompanhadas em mesmo grau por iniciativas visando implementá-las.

No início do século XX, o filósofo estadunidense John Dewey (1859-1952)²¹ argumentou em favor da importância de se discutir o método científico no ensino. Dewey entendia o método científico não somente em termos de procedimentos puramente técnicos, mas como um modo de pensar característico da ciência, que os estudantes poderiam direcionar para compreender qualquer assunto (Matthews, 2012). Para atingir tal fim, não bastaria aplicar o método, mas também discuti-lo. Para Dewey, compreender o método seria mais importante que a aquisição do conhecimento científico, principalmente para aqueles que não viriam a estudar ciência em níveis avançados (Hodson, 1986).

Algumas décadas depois, o *Harvard Project Physics* resultaria na produção e aplicação de materiais curriculares baseados na Filosofia da Ciência, pois, além de historiadores da ciência, também filósofos da ciência – como Ernest Nagel (1901-1985) – contribuíram para a sua formulação (Duschl, 1985).

No ano de 1969, o periódico *Journal of Research in Science Teaching*, publicado pela *National Association for Research in Science Teaching (NARST)* dos Estados

²¹Destacamos que Dewey não faz referência direta à Filosofia da Ciência, embora seja razoável supor que as discussões propostas por ele se referissem a esse campo. Além disso, ressalta-se que, assim como os argumentos em prol da História da Ciência, a argumentação em favor da Filosofia da Ciência, ou, mais precisamente, de abordagens filosóficas no ensino, empreendidas por autores como Dewey, refletem o contexto científico, filosófico e educacional de sua época.

Unidos, publicou uma série de artigos avaliando as contribuições da Filosofia da Ciência para o currículo (Connelly, 1969; Ivany, 1969) e para a formação de professores (Robinson, 1969).

Nesses trabalhos, os autores avaliaram que a Filosofia da Ciência teve pouca influência na formulação dos currículos da época, fruto, em certa medida, do número limitado de trabalhos discutindo suas possíveis contribuições ao ensino. Tendo isso em vista, várias recomendações foram feitas. Uma delas foi a inclusão, nos currículos, de discussões sobre as bases do conhecimento científico, seus limites e adequação (Connelly, 1969). Também foi destacada a importância de se considerar cuidadosamente a posição filosófica que fundamenta os currículos, devido à diversidade de posições possíveis (Ivany, 1969). Em relação à formação de professores, Robinson (1969) ressaltou a necessidade de se promover a compreensão filosófica de termos como analogia, teoria e modelo científico como parte do conhecimento da *natureza do conhecimento* científico, considerando que tais termos são utilizados de modo tácito pelos cientistas, mas seus significados precisam ser devidamente explicados pelos professores de ciências. O mesmo autor recomendou tornar explícitos os princípios que orientam a investigação em laboratório, com o intuito de evitar equívocos observacionais e conceituais, e examinar os limites de investigações particulares (Robinson, 1969).

Robinson (1969) ainda destacou que nem todos os cursos de Filosofia da Ciência conhecidos por ele em sua época seriam adequados à formação de professores de ciências, por serem oferecidos por filósofos da ciência e direcionados à formação de filósofos. Além disso, haveria uma dificuldade adicional em incluir um curso dessa natureza, em virtude da existência de demandas pela inclusão de outros componentes curriculares considerados de igual valor para a formação de professores.

Em trabalhos publicados em 1972 e 1974, o filósofo da ciência Michael Martin lançou a questão *What relevance – if any – does philosophy of science have for science education?* [Que relevância – se houver alguma – tem a filosofia da ciência para a educação em ciência?]. Apesar da grande produção nos campos da Filosofia da Ciência e da Educação em Ciências em sua época, Martin (1972, 1974) observou que essa questão continuava pouco explorada quando se tratava de possíveis interfaces entre esses campos. Martin (1972, 1974) apresentou uma série de

possíveis contribuições que a Filosofia da Ciência²² poderia proporcionar à Educação em Ciências, em particular à pesquisa, aos currículos e ao ensino-aprendizagem de ciências. Segundo esse autor, estudantes e educadores em ciências (incluindo-se aqui pesquisadores, desenvolvedores de currículos, escritores de livros didáticos e professores) podem compreender, analisar e criticar conceitos e métodos científicos, como, por exemplo, a natureza das teorias científicas. Isso envolve, também, não ensinar a ciência como um corpo de conhecimentos inflexível e inalterável, mas, ao contrário, salientar sua natureza provisória e passível de revisão.

Martin (1974) ainda apontou que os professores podem se apropriar de diferentes formas de raciocínio empregadas na Filosofia da Ciência para subsidiar suas aulas e discussões, tais como os raciocínios persuasivo, lógico, especulativo e questionador. Por exemplo, um professor que adotasse a dialética de Sócrates no âmbito do Ensino de Ciências levantaria questões sobre a ciência com seus estudantes, refutando ou desafiando suas respostas.

Uma década após os trabalhos de Martin (1972, 1974), Abimbola (1983) retomaria a defesa da Filosofia da Ciência na Educação em Ciências, destacando as contribuições da *nova Filosofia da Ciência*. Baseando-se em uma série de trabalhos de educadores em ciências, Abimbola (1983) observou que os currículos e a instrução careciam de fundamentação filosófica que refletisse as discussões mais recentes do campo da Filosofia da Ciência, pois a ciência escolar de sua época se caracterizava por transmitir uma imagem empírico-indutivista da ciência – compreensão muito criticada pelos filósofos nas décadas precedentes. Duschl (1985) reforçaria a argumentação de Abimbola (1983), ao avaliar que os currículos de ciências estadunidenses dos 25 anos anteriores ignoraram, salvo iniciativas pontuais, os desenvolvimentos da Filosofia da Ciência.

Uma aproximação entre os campos da Educação em Ciências e da Filosofia da Ciência poderia promover respostas mais elaboradas às questões: *como o conhecimento científico é elaborado? Como se torna um conhecimento válido? Como*

²²Nos trabalhos mencionados, Martin adotou diferentes compreensões, ainda que não excludentes, para os objetivos da Filosofia da Ciência. Em 1972, Martin apontou como objetivos: analisar, esclarecer e criticar conceitos (tais como *definição*, *observação* e *explicação*) e métodos científicos, tanto gerais quanto específicos para uma dada disciplina científica. Em 1974, os objetivos apontados por Martin foram: propor, defender e criticar teorias a respeito do crescimento e desenvolvimento científico, bem como teorias sobre como o conhecimento científico progride. Ainda que tais compreensões pudessem não ser compartilhadas por outros filósofos da ciência da mesma época, elas representam o ponto de vista do autor sobre esse campo.

eventualmente muda sua forma e significado? (Abimbola, 1983). Dado que os problemas mencionados são de interesse da Filosofia da Ciência, a Educação em Ciências poderia dialogar com ela com o intuito de mudar a imagem empírico-indutivista predominante no âmbito escolar.

As contribuições da Filosofia da Ciência não se restringiriam à promoção de melhores compreensões sobre a ciência pelos estudantes, mas, também, alicerçariam e refinariam a pesquisa empreendida na área de Educação em Ciências, que possui suas próprias bases filosóficas. Isso teria implicações para os currículos, pois a Filosofia da Ciência poderia orientar, em parte, a escolha dos conteúdos instrucionais e promover discussões acerca de questões filosóficas sobre a estrutura do conhecimento científico, como ele se desenvolve, como funciona e como adquire características peculiares nos diferentes campos de investigação. O enfoque do ensino, assim, passaria a recair mais sobre o processo do que sobre os resultados da ciência: a partir da solução de um problema científico, novos problemas surgem, e mesmo a solução é provisória (Abimbola, 1983).

Do ponto de vista dos professores, as reflexões sobre a perspectiva filosófica subjacente ao currículo e à prática podem promover melhor apresentação dos conteúdos científicos aos estudantes. Além disso, a promoção de debates e discussões centradas mais nos processos do que nos resultados pode ajudar os alunos a vislumbrarem o mundo em mudança, preparando-os para futuras mudanças, e ajudando-as a promoverem mudanças (Abimbola, 1983).

Em 1985, o educador em ciências Derek Hodson constatou que, embora fosse crescente o número de livros e artigos em defesa da Filosofia da Ciência no ensino, os professores de ciências, em sua maioria, desconheciam as discussões e a relevância desse campo (Hodson, 1985). Isso resultava na preponderância de uma filosofia *implícita* nas atividades de aprendizagem oferecidas aos estudantes. Hodson (1986) avaliou que essa deficiência decorria do fato de a filosofia presente em currículos de ciências estadunidenses e ingleses ser confusa, muitas vezes contraditória, e baseada em uma orientação filosófica duvidosa ou mesmo já descartada pela nova Filosofia da Ciência. A filosofia subjacente aos currículos, em conjunto com outras experiências vividas fora da sala de aula, teria influência sobre as compreensões dos alunos acerca da *natureza da ciência*²³ e a respeito das

²³Os trabalhos de Hodson (1985, 1986) se assemelham aos trabalhos que serão discutidos no Capítulo 2 desta tese, por conta do enfoque dado à *natureza da ciência*. Contudo, optamos por abordá-los nesta

atividades dos cientistas. A ausência, nos currículos, na formação de professores e nas aulas de ciências, de uma filosofia explícita e fundamentada resultava, segundo pesquisas da época, nas seguintes compreensões sobre a ciência:

- A ciência dá acesso a verdades factuais sobre o mundo através da observação imparcial;
- O conhecimento científico é derivado diretamente da observação dos fenômenos;
- A ciência testa racionalmente suas proposições por meio de procedimentos experimentais objetivos e confiáveis;
- A ciência é uma atividade neutra, não influenciada por fatores sociais, históricos ou econômicos, produzindo conhecimento livre de valores (Hodson, 1985, p. 27).

Diante disso, a aproximação entre Filosofia da Ciência e Educação em Ciências teria como principal objetivo promover melhores compreensões *sobre* ciência, dirigidas não somente a cientistas – se assim fosse, falaríamos em *treinamento em ciência* – mas, principalmente, a estudantes que não seguiriam carreiras científicas, buscando a formação para a cidadania por meio da *educação em ciência*. Os professores, por sua vez, deveriam possuir algum conhecimento de Filosofia da Ciência e de sua relevância para o ensino (Hodson, 1985).

A Filosofia da Ciência pode, também, fundamentar e orientar propostas de ensino por investigação, realizadas por estudantes e orientadas por seus professores. Ao se investigar a aplicação dos projetos curriculares das décadas anteriores, e de seu método indutivista de aprendizagem por descoberta, percebeu-se que os trabalhos práticos propostos não apresentavam propósitos claros para os estudantes, ou eram elencados inúmeros objetivos para eles, resultando em obstáculos pedagógicos. Além disso, notou-se que o tipo de trabalho prático desenvolvido influenciava a construção da visão de ciência dos estudantes. De acordo com Hodson (1985),

Como ensinar ciência não é uma questão científica, e nem a ciência e a filosofia da ciência podem nos fornecer um guia infalível sobre como proceder. Teorias científicas não contêm dentro delas meios de ensinar e aprender ciência, nem o método científico representa um meio significativo de adquirir conhecimento científico (exceto para aqueles envolvidos na pesquisa científica). [...] A adoção de métodos de aprendizagem com base em um modelo de ciência não é uma exigência lógica de um compromisso para familiarizar os alunos com uma compreensão dos métodos e

seção, pois o autor tem como motivação maior defender a importância da Filosofia da Ciência no ensino.

procedimentos da ciência. Assumir tal suposição é confundir objetivos com métodos. Nem todas as experiências de aprendizagem devem tentar mimetizar o método científico. É um absurdo sugerir que os objetivos bem distintos de compreensão dos procedimentos da ciência e seus métodos, e de aprendizagem do conhecimento científico, exijam colocar o aprendiz em uma situação onde ele tem de aprender o conteúdo *por meio* do método (Hodson, 1985, p. 41, grifos nossos).

Assim, as novas bases filosóficas e pedagógicas das atividades experimentais deveriam ter como propósito ensinar uma compreensão dos métodos científicos. Hodson (1985) argumentou que o procedimento experimental pautado no *fazer* poderia resultar em motivação e na aquisição de habilidades, e que o estudo dos *resultados experimentais* teria valor na aprendizagem dos conhecimentos científicos (conhecimentos **de** ciência).

Na década de 1990, as discussões a respeito das contribuições da História, Filosofia e Sociologia da Ciência para o ensino, aprendizagem e currículos de ciências adquiriram um novo patamar de importância com a criação, em 1992, do primeiro periódico dedicado exclusivamente a tais questões: *Science & Education – Contributions from History, Philosophy and Sociology of Science and Mathematics*.

Em trabalho publicado nesse periódico, em que tratava exclusivamente das contribuições da Filosofia da Ciência, Machamer (1998) delineou inúmeras preocupações desse campo que poderiam levar os estudantes de ciências a *pensarem sobre o que estão estudando/fazendo e porquê*. A Filosofia da Ciência fomentaria essa reflexão por abranger aspectos como: a atividade dos cientistas; a natureza e o caráter das teorias científicas; a estrutura da prática científica e seus produtos; os métodos que os cientistas usam; os efeitos da ciência sobre atividades e práticas (atuais e do passado) que são parte da sociedade. Refletir sobre os objetivos e procedimentos adotados na resolução de problemas ajudaria os estudantes a resolvê-los melhor e, também, a adaptar e reestruturar antigos objetivos e procedimentos, tendo em vista novos contextos e problemas (Machamer, 1998).

O ensino de Filosofia da Ciência para futuros cientistas foi defendido recentemente pelo filósofo Grüne-Yanoff (2014), responsável por cursos de Filosofia da Ciência direcionados a estudantes universitários suecos das mais diferentes áreas da ciência. De acordo com Grüne-Yanoff (2014), a formação de cientistas das mais diferentes áreas, incluindo-se aqui ciências naturais, humanas e econômicas, privilegia, costumeiramente, o ensino de uma metodologia convencional da ciência,

cuja justificação é raramente apresentada aos estudantes. Ou seja, os estudantes são instruídos a respeito dos métodos básicos de suas respectivas áreas e iniciados quanto ao seu uso, mas pouco ou nada é apresentado com o intuito de explicar ou justificar a escolha desses métodos, ou por que eles são projetados de um modo e não de outro. A análise dos livros didáticos, nos quais os estudantes aprendem a aceitar os métodos de cada área, exemplifica isso (Grüne-Yanoff, 2014).

Argumenta-se em prol da Filosofia da Ciência pelo fato de ela tratar dos porquês, ao descrever e analisar os procedimentos científicos de avaliação e credenciamento do conhecimento científico, bem como o que eles objetivam; e também ao identificar as características de cada método, suas bases teóricas, seus objetivos, seus contextos de aplicação e as evidências relacionadas a cada um deles (Grüne-Yanoff, 2014).

Grüne-Yanoff (2014) considera que muitos cientistas têm competência em fornecer porquês em relação aos métodos que empregam, mas filósofos da ciência se distinguem por contribuírem com uma perspectiva particular. Primeiro, por não estarem inseridos na prática da disciplina a qual estudam. E segundo, por terem uma visão mais ampla a respeito dos métodos, pelo fato de empreenderem comparações entre conceitos e práticas de diferentes disciplinas, ou restringirem essa comparação a uma disciplina específica tendo em vista um modelo mais abstrato de ciência ou de prática científica. Além disso, e talvez como principal característica de distinção, os filósofos procedem a essas análises de maneira *reflexiva* e *explícita*.

Diante disso, a Filosofia da Ciência na formação de futuros cientistas pode contribuir para melhorar:

- a *compreensão dos métodos científicos*, por justificar seu uso, alcance, propósito e relação com outros métodos;
- a *reflexão crítica*, por propiciar melhor compreensão dos métodos científicos, permitindo discernimento entre vantagens e desvantagens;
- a *prática científica*, pois a compreensão da metodologia convencional nem sempre é flexível o suficiente para lidar com contextos novos ou anomalias, os quais implicam ajustes na metodologia ou na aquisição de metodologias alternativas;
- a *comunicação científica* para o público mais amplo, ao tornar mais claras as incertezas associadas aos resultados divulgados (Grüne-Yanoff, 2014).

Grüne-Yanoff (2014) defende, ainda, a inclusão de aspectos não epistêmicos referentes aos valores e normas envolvidos em como conduzir a pesquisa científica,

bem como de aspectos sociais e morais relacionados à escolha de questões de pesquisa e à tomada de decisões acerca de temas de importância pública. Segundo o autor, essa inclusão pode aumentar a competência dos futuros cientistas na escolha de pesquisas mais responsáveis.

A aproximação entre filósofos da ciência e futuros cientistas não resultaria em benefícios apenas aos últimos, pois os primeiros também colheriam frutos do estreitamento desses laços. A aproximação: (i) possibilitaria a divulgação das pesquisas filosóficas para um público amplo; (ii) poderia influenciar o modo pelo qual a ciência é feita; (iii) promoveria aprendizagens sobre como interagir com cientistas; (iv) mostraria que os filósofos têm algo de importante a dizer para a comunidade científica; (v) abriria novos caminhos de pesquisa, rejuvenescendo os departamentos de filosofia; e (vi) permitiria que cientistas buscassem futuro treinamento em Filosofia da Ciência (Grüne-Yanoff, 2014).

A partir da década de 1980, pesquisadores e educadores ibero-americanos incorporaram-se ao movimento em prol das contribuições da Filosofia da Ciência ao Ensino de Ciências. O periódico *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, lançado em 1983, apresentou desde as primeiras edições uma seção voltada à *historia de las ciencias y enseñanza* e, a partir de 1989, ampliou o escopo dessa seção para *historia y epistemología de las ciencias*.

Em 1993, Mellado e Carracedo apontaram que a Filosofia da Ciência tinha papel importante na análise e fundamentação das disciplinas científicas e, por consequência, seria importante para professores de ciências explicitarem suas compreensões a respeito da construção do conhecimento científico. O que se observava nos cursos de formação de professores de ciências espanhóis²⁴ era uma ambiguidade nas posições filosóficas subjacentes, de maneira que a não explicitação e reflexão sobre elas poderia levar professores a assumirem (ou manterem), implicitamente, concepções positivistas sobre a ciência.

Mellado e Carracedo (1993) argumentaram, ainda, que os modelos da didática das ciências têm (preferimos dizer que eles *podem ter*) raízes na Filosofia da Ciência. Por isso, a fundamentação de aspectos filosóficos no modelo adotado pelo professor

²⁴Mellado e Carracedo (1993) descrevem que, naquele momento, o sistema educacional pré-universitário da Espanha passava por uma reorganização e reestruturação curricular. Assim, a Filosofia da Ciência, junto com outros campos do conhecimento, poderia subsidiar os objetivos educacionais almejados, em especial, o maior protagonismo dos professores na implementação de projetos curriculares, o qual requeria professores mais críticos e reflexivos.

pode proporcionar uma visão mais global da prática desenvolvida em sala de aula. Por exemplo, se a ciência é concebida como um corpo de conhecimentos verdadeiro, ou seja, uma compreensão oriunda do positivismo empirista, isso resulta em um ensino baseado na *transmissão* de conhecimentos aos estudantes. Por outro lado, um modelo didático sustentado na nova Filosofia da Ciência consideraria que o estudante constrói de forma ativa seu conhecimento, em um dado contexto social e partindo do seu conhecimento anterior.

No mesmo periódico, anos depois, Adúriz-Bravo, Izquierdo e Estany (2002) argumentaram em prol de conteúdos metacientíficos na formação inicial e continuada de professores, após identificarem concepções filosóficas diferentes das defendidas pela nova Filosofia da Ciência. Os autores ainda observaram que as compreensões dos professores não possuem amparo nem mesmo nos modelos formais elaborados na primeira metade do século XX. Diante disso, a Filosofia da Ciência poderia auxiliar no questionamento dessas visões simplistas, e na construção de visões mais elaboradas sobre ciência. O emprego consciente de modelos fundamentados na Filosofia da Ciência melhoraria a prática dos professores. A partir disso, Adúriz-Bravo e colaboradores (2002) delimitaram três grandes finalidades do ensino de Filosofia da Ciência:

- *Valor cultural* intrínseco, tal como têm as ciências naturais, sendo relevante para futuros cientistas, professores de ciências, e para a população em geral. Esse valor decorre do fato de promover a compreensão do papel da ciência na história da humanidade e, também, de orientar a tomada de decisões fundamentadas e críticas sobre o desenvolvimento científico e tecnológico da sociedade;
- *Valor específico*, por se tratar de uma reflexão teórica sobre a ciência;
- *Valor instrumental*, por contribuir para melhor compreensão dos conteúdos da ciência, auxiliando no seu ensino e aprendizagem (Adúriz-Bravo *et al.*, 2002).

Tal como relatado por outros autores em diferentes momentos e lugares, o ensino da Filosofia da Ciência por si mesma, e como auxiliar das próprias ciências, ainda é visto como marginal e secundário (Adúriz-Bravo *et al.*, 2002). A reflexão teórica expandiu-se rapidamente; no entanto, essa expansão não foi acompanhada em mesmo grau pela geração de propostas práticas para sua inserção em sala de aula.

No Brasil, trabalhos em favor das contribuições da Filosofia da Ciência ao ensino começaram a ser publicados em meados dos anos 1980 e início dos anos 1990. Em sua tese de doutorado, Zanetic (1989) recorreu à Filosofia da Ciência para combater

a visão positivista do método científico, amplamente presente no ensino de Física. De acordo com a perspectiva positivista, cientistas observam e descrevem os fatos empíricos, e posteriormente os organizam com o intuito de transformá-los em linguagem matemática autoconsistente. Essa visão sugere, assim, a existência de um método único, fechado e imutável. Tomando como referências filósofos como Karl Popper, Thomas Kuhn, Paul Feyerabend e Gaston Bachelard, Zanetic (1989) argumentou que respostas mais elaboradas para a questão “O que é o conhecimento científico e como ele pode ser obtido?” podem ser produzidas no sentido de criticar a existência de um conjunto de regras bem estabelecidas. Zanetic (1989) destacou que diferentes respostas podem ser dadas a tais questões, algumas, inclusive, diametralmente opostas entre si. A apresentação e discussão de diferentes visões epistemológicas sobre o método científico na formação de professores proporcionariam uma base filosófica para a cultura científica, e permitiriam aos professores se posicionarem a respeito de cada uma delas.

Silveira (1992) identificou a onipresença da concepção empírico-indutivista, ainda que implicitamente, entre estudantes, professores, livros didáticos, roteiros de laboratório, etc. Essa concepção implicaria na desvalorização da criatividade no trabalho científico, numa visão rígida, absoluta e intolerante do conhecimento científico frente a outros conhecimentos e opiniões. Em oposição a esse dogmatismo, a Filosofia da Ciência poderia proporcionar à Educação em Ciências fundamentação sólida e atualizada.

Em meados da década de 1990, o *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* publicou uma série de trabalhos apresentando a *epistemologia*²⁵ de diferentes representantes da nova Filosofia da Ciência, em particular Thomas Kuhn (Ostermann, 1996), Karl Popper (Silveira, 1996a), Imre Lakatos (Silveira, 1996b), Paul Feyerabend (Regner, 1996) e Gaston Bachelard (Lopes, 1996). Em seu editorial, o periódico destacou a importância de se compreender o processo de construção do conhecimento científico como forma de ampliar o Ensino de Física, então reduzido à mera apropriação das teorias físicas e ao emprego de algoritmos para a resolução de problemas,

²⁵O termo *epistemologia* abrange discussões em torno de teorias do conhecimento e sua justificação, de modo que o conhecimento científico é um de seus objetos – o que muitas vezes é especificado pelo termo *epistemologia da ciência* –, mas não o único. Assim, a epistemologia distingue-se da Filosofia da Ciência por sua amplitude. Contudo, na França, o termo *épistémologie* tradicionalmente se referiu ao que compreendemos como Filosofia da Ciência. Assim, dependendo de sua formação, um autor pode estar se referindo às discussões da Filosofia da Ciência quando emprega o termo *epistemologia* (Dutra, 2010).

desconsiderando que o objetivo da educação básica não é formar cientistas (Delizoicov, 1996).

Além de uma nova compreensão do estatuto do conhecimento científico, no sentido de desmistificar uma visão de ciência pronta, acabada e imutável, as contribuições dos filósofos da ciência promoveriam também uma ressignificação do processo de ensino-aprendizagem, dado que a apropriação dos conceitos científicos pelos estudantes não seria encarada em termos de *transmissão*, mas como um processo de *construção*, no qual o estudante interagiria de forma não neutra com os objetos do conhecimento (Delizoicov, 1996).

Em trabalhos posteriores, Villani²⁶ apresentou as contribuições da Filosofia da Ciência, particularmente as centradas nas ideias de Popper, Kuhn, Lakatos e Feyerabend, para a Educação em Ciências, no sentido de fornecer algumas analogias²⁷ entre a atividade científica e a aprendizagem em sala de aula, auxiliando a compreensão e promoção de melhores situações de ensino-aprendizagem (Villani *et al.* 1997; Villani, 2001, 2007). A Filosofia da Ciência também ofereceu contribuições a respeito de características específicas envolvidas na produção do conhecimento científico, resultando em problemas e questões direcionados à reflexão e aprendizagem dos estudantes sobre concepções de ciência e da atividade científica. Para ilustrar possíveis analogias entre os dois campos, citamos a seguinte passagem, na qual diferentes implicações são apresentadas de acordo com a perspectiva filosófica – interessada na atividade científica – e a perspectiva educacional adotada – interessada na aprendizagem dos estudantes:

O debate filosófico apresenta-se como um embate entre os que consideram o avanço da ciência, apesar de parcial e provisório, um dado inquestionável, no sentido de que as teorias mais recentes são objetivamente melhores do que as mais antigas (Popper e Lakatos), e os que sustentam que no

²⁶Nesses trabalhos, Villani cita os *modelos de mudança conceitual*, que foram desenvolvidos a partir da década de 1970 no contexto dos projetos curriculares, e que foram inspirados em ideias oriundas da Filosofia da Ciência. Entretanto, inúmeras pesquisas foram apontando, ao longo do tempo, problemas nesses modelos.

²⁷Villani (2007) toma o cuidado de utilizar o termo “analogia” com o intuito de distinguir entre atividade científica e atividade escolar, as quais apresentam diferenças significativas, delimitando, também, seu alcance: “O processo de produção de analogias [...] parece obedecer a um esquema comum: olhar para alguma ciência humana (filosofia, história e psicanálise), perceber semelhanças com situações de aprendizagem de ciências, construir uma metáfora fundamental e procurar transferir as consequências dessa metáfora para o ensino, prestando atenção à plausibilidade da transferência e tentando focalizar as novidades introduzidas. De fato as analogias não constituem um resultado final, isto é, não têm um fim em si mesmas. Elas são interessantes somente se são frutíferas, ou seja, se apontam para novidades em relação ao processo de aprendizagem” (Villani *et al.*, 1997, p. 50).

desenvolvimento da ciência há lugar para escolhas, que, geralmente, impedem uma avaliação definitiva (Kuhn e Feyerabend). Do lado do ensino de Ciências temos uma situação análoga; um confronto entre os que consideram que a meta é fazer com que o aluno pense de acordo com as concepções científicas, entendidas como constituintes do conhecimento mais refinado, e os que sustentam que na aprendizagem das Ciências há lugar legítimo para escolhas e adaptações (Villani, 2001, p. 176).

Em linhas gerais, defende-se a Filosofia da Ciência como condição necessária para a construção de uma visão crítica da atividade científica, o que Villani (2001) encara, no início do século XXI, como um consenso estabelecido na área de Educação em Ciências, principalmente na perspectiva que articula Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

Diferentemente do que ocorreu com a História da Ciência, poucos trabalhos com o objetivo de delinear as contribuições específicas da Filosofia da Ciência para a Educação em Ciências foram produzidos no Brasil nos anos seguintes. Os trabalhos publicados se concentraram em delinear as contribuições de filósofos particulares, possivelmente pelo consenso existente em torno da pertinência de alguns autores. Em 2002, o *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, motivado pelo sucesso da edição de 1996, trouxe novos artigos sobre a contribuição de filósofos para a Educação em Ciências, como, por exemplo, Ludwik Fleck (Delizoicov *et al.*, 2002), Mario Bunge (Cupani & Pietrocola, 2002), Stephen Toulmin (Ariza & Harres, 2002) e Larry Laudan (Pesa & Ostermann, 2001).

Esse breve panorama revela que os principais argumentos em favor da Filosofia da Ciência no ensino se referem a seu papel em promover melhores compreensões sobre a ciência entre estudantes do ensino básico, futuros cientistas e professores dos diferentes níveis de ensino. De maneira semelhante ao que foi feito para a História da Ciência, também se argumentou pela sua pertinência para compreender o processo de ensino-aprendizagem e, ainda, para fornecer fundamentos ao campo da Educação em Ciências.

1.3.2. Razões contrárias à inserção da Filosofia da Ciência no ensino (e contra-argumentos)

Embora tenhamos apresentado argumentos em favor de abordagens filosóficas da ciência tendo em vista objetivos educacionais, ao longo do século XX não faltaram objeções ou alertas contra esse tipo de abordagem.

Conant, cujo interesse era integrar a ciência à cultura geral por meio de estudos de caso históricos, descreveu em seu livro de 1947, *On Understanding Science – An Historical Approach* [Sobre a compreensão da Ciência – Uma abordagem histórica], duas abordagens distintas para se compreender a ciência:

[...] uma é retrazar os passos pelos quais certos resultados finais têm sido produzidos; a outra é dissecar o resultado, com a esperança de revelar seu padrão estrutural e expor as relações lógicas das partes componentes, e, eventualmente, expor também inconsistências e falhas. Mentos filosóficas e matemáticas preferem a abordagem lógica, mas é minha convicção que o método histórico produzirá compreensões mais reais de um conteúdo complexo para nove entre dez pessoas (Conant, 1947, p. 27).

A primeira abordagem descrita por Conant é a histórica, enquanto a segunda é a filosófica. O cerne das críticas de Conant, ainda que não expressas nesses termos por ele, envolve uma inclinação *normativa* por parte da Filosofia da Ciência – como, por exemplo, ao caracterizar o método científico como uma classificação precisa e cuidadosa de fatos e a observação de suas correlações. Se os cientistas em atuação podem vivenciar as limitações de tal afirmação, pessoas com pouca ou nenhuma experiência em investigações científicas podem, porém, compreendê-la literalmente, desenvolvendo, por consequência, uma visão equivocada a respeito do método científico (Conant, 1947).

Para Conant, a abordagem histórica seria mais adequada que a filosófica por apresentar os percalços do desenvolvimento científico, destacando as dificuldades inerentes à gestação de novas ideias, as quais precisam de boas razões e tempo até serem aceitas, e envolvendo controvérsias, interpretações conflitantes, generalizações equivocadas, etc. A partir disso, Conant defende que, no âmbito do ensino, apenas a abordagem histórica baseada em estudos de caso pode responder à questão “O que é ciência?”.

Diferentemente de Conant, não consideramos que abordagens históricas e filosóficas no ensino sejam excludentes. Entendemos que elas podem ser complementares e contribuir sinergicamente para promover melhores compreensões sobre o que é ciência. Martin (1972) destacou que a utilização de um estudo de caso histórico pode engendrar questões quanto ao que é o método científico, qual o seu papel e suas limitações. Nesse sentido, a Filosofia da Ciência pode fornecer respostas fundamentadas, ainda que não únicas, a respeito dessas questões.

Apesar disso, poderíamos dizer, em defesa de Conant, que sua recusa a uma abordagem filosófica no ensino, entendida por ele como a análise lógica do conhecimento científico, se assenta no grau elevado de abstração que exigiria dos estudantes. Os estudos de caso histórico balanceariam essa dificuldade por meio do delineamento de contextos nos quais os estudantes construiriam suas compreensões sobre a ciência. Os contextos históricos atuariam como bases concretas para a discussão dos conhecimentos sobre a ciência.

Machamer (1998) salientou que a filosofia não deve ser ensinada de maneira abstrata aos estudantes, principalmente na educação básica, por conta de sua pouca capacidade de abstração e maturidade para compreender questões dessa natureza. Para Machamer (1998), as discussões sobre a Filosofia da Ciência devem ser promovidas a partir do delineamento de um dado contexto e se relacionar com o conteúdo específico ensinado.

Mais recentemente, o filósofo australiano Davson-Galle (2008) apresentou objeções à introdução da Filosofia da Ciência no currículo de ciências *obrigatório* no ensino básico. Primeiramente, Davson-Galle (2008) esclareceu que essa introdução envolve diferentes significados e níveis de dificuldades:

- a) Em termos cognitivos baixos, ela poderia informar os estudantes a respeito de várias posições filosóficas razoavelmente bem fundamentadas *sobre a ciência*;
- b) Em um nível cognitivo superior, informaria os estudantes em relação a algumas *questões controversas* dentro da Filosofia da Ciência e algumas visões em disputas;
- c) Questões mais complexas seriam promovidas mediante a familiarização dos estudantes com alguns *argumentos* centrais defendidos pelos filósofos envolvidos em tais controvérsias;
- d) Por fim, com uma alta demanda cognitiva, estudantes seriam conduzidos a se engajar de maneira filosoficamente ativa no sentido de responder às visões em disputa e seus argumentos associados, o que implicaria em técnicas filosóficas para esse fim (Davson-Galle, 2008, p. 678, grifos no original).

Tendo em vista isso, Davson-Galle (2008) não rejeita que a Filosofia da Ciência seja introduzida de maneira independente ou integrada nas aulas de ciências, nos quatro sentidos delineados acima, nem que a maioria dos estudantes possa compreender tais questões. A questão é: Isto *deve* ser feito?

O cerne de sua objeção reside na perda de liberdade de escolha dos estudantes quando a Filosofia da Ciência se torna um componente curricular *obrigatório*. Esta incorporação é justificada, comumente, pelo fato de os estudantes não terem condições de avaliar o significado e implicações de cada componente curricular: eles seriam incapazes de exercer sua autonomia adequadamente e poderiam tomar decisões equivocadas, como, por exemplo, escolher não estudar Filosofia da Ciência, disciplina que seria boa não só para cada estudante individual, mas para a sociedade como um todo (Davson-Galle, 2008).

Em nossa visão, a questão posta por Davson-Galle (2008) não se restringe unicamente à incorporação da Filosofia da Ciência, mas a qualquer conteúdo ou proposta curricular: a margem de escolha dos estudantes é mínima ou mesmo nula. Diante disso, a objeção à Filosofia da Ciência valeria também para todo o currículo e, por consequência, não nos parece aplicável somente a ela. É, sem dúvida, uma questão importante no que diz respeito à elaboração de currículos, sendo mais complexa do que o autor sugere.

Davson-Galle (2008) acrescenta que todos os quatro sentidos atribuídos à introdução da Filosofia da Ciência, ainda que em menor ou maior grau para cada um deles, dificilmente vislumbram como benefícios promover maior felicidade e facilitar a busca dos objetivos de vida de *todos* os estudantes. Quanto a isso, pode-se objetar que, conforme apresentado na seção anterior, nenhum dos trabalhos preocupados em delinear contribuições da Filosofia da Ciência para o ensino, ao longo do século XX, considerou objetivos semelhantes aos descritos por Davson-Galle (2008). Poderíamos ir além e levantar a questão: Qual(is) conteúdo(s) presente(s) ou ausente(s) nos currículos poderia(m) promover maior felicidade e facilitar a busca dos objetivos de vida de todos os estudantes? Tal como na questão anterior, a posição de Davson-Galle (2008) revela um entendimento simplista em relação ao currículo e, principalmente, não dissecar as contribuições específicas da Filosofia da Ciência para os currículos de ciências de modo a avaliar sua pertinência e aplicabilidade. Por fim, o autor parece compreender que a introdução da Filosofia da Ciência ocorreria na

forma de uma disciplina escolar, sendo que os educadores, em geral, defendem a implementação de abordagens filosóficas no ensino, discutindo explicitamente sobre ciência ou de maneira subjacente aos conteúdos, no âmbito das próprias disciplinas científicas.

1.3.3. Qual abordagem filosófica pode ser levada ao ensino?

A Filosofia da Ciência, entendida aqui como um campo de conhecimento independente e autônomo, apresentou, ao longo do século XX, diferentes teorias quanto ao que é ciência e como ela funciona, propostas por diversos filósofos e escolas filosóficas²⁸.

No início do século XX²⁹, autores como Moritz Schlick (1882-1936), Otto Neurath (1882-1945), Hans Hahn (1879-1934), Rudolf Carnap (1891-1970), Carl Hempel (1905-1907) e Hans Reichenbach (1891-1953), sem a pretensão de apresentar uma relação exaustiva, conceberam, desenvolveram e defenderam a escola filosófica denominada *positivismo lógico* ou *empirismo lógico* (Hahn, Neurath, & Carnap, 1986).

Os seguintes aspectos sobre a ciência são característicos dessa escola filosófica:

- Observações permanecem as mesmas durante revoluções científicas. Uma nova teoria é, portanto, um aprimoramento da teoria anterior, pois incorpora um domínio mais extensivo de dados observacionais;
- O conhecimento científico se desenvolve por acumulação;
- A preocupação reside na estrutura lógica do produto da pesquisa científica. Por conta disso, critérios objetivos são necessários para a validação das descobertas científicas (Abimbola, 1983, p. 185).

Além disso, o positivismo lógico se caracterizou por uma reflexão sobre a natureza do conhecimento científico em termos, essencialmente, a-históricos, cujo objetivo era unificar as ciências empíricas por meio de sua validação e fundamentação lógico-matemática. O que se pretendia era o estabelecimento de critérios *a priori* para demarcar entre científico e não-científico (Beltran & Saito, 2012).

²⁸Ainda que possamos classificar um grupo de autores em uma dada escola filosófica, há que se ter claro que, mesmo dentro de uma mesma escola, diferentes perspectivas podem ser adotadas por seus membros, constituindo, assim, filosofias próprias.

²⁹Ainda que aqui sejam mencionados apenas autores do século XX, a história da Filosofia da Ciência é anterior a esse período, incluindo, por exemplo, o empirismo clássico de Francis Bacon (1561-1626) e David Hume (1711-1776), o positivismo de Auguste Comte (1798-1857), entre outros (Abimbola, 1983).

Na segunda metade do século XX, um grupo de autores, incluindo Karl Popper³⁰ (1902-1994), Imre Lakatos (1922-1974), Thomas Kuhn (1922-1996) e Paul Feyerabend³¹ (1924-1994), constituiria o que ficou conhecido como a *nova Filosofia da Ciência*. Ainda que cada um desses autores tenha uma teoria do conhecimento científico particular, sendo muitas vezes uma resposta ou contra-proposta às que lhe antecederam, eles se caracterizam por apresentarem críticas ao positivismo lógico (Videira, 2006 *apud* Bagdonas, 2015). Outra compreensão a respeito das semelhanças entre os diferentes filósofos que compõem a nova Filosofia da Ciência é dada por Mellado e Carracedo (1993), para quem todos eles se caracterizam por ter uma base construtivista, no sentido de que o conhecimento científico é construído por humanos, presentes em um determinado contexto social; todos consideram a importância do conhecimento anterior na produção de novos conhecimentos, cuja produção envolve atos criativos; todos concordam que a teoria precede a observação, e que todas as teorias científicas têm, em um dado momento, coerência interna e abarcam um corpo de experiências.

Podemos identificar alguns temas discutidos pela nova Filosofia da Ciência, sendo que cada um desses temas apresenta apoiadores e contestadores no âmbito dessa corrente:

- O conhecimento, as crenças e teorias determinam em grande extensão o que percebemos. Consequentemente, observações são carregadas de teoria;
- Cientistas trabalham dentro de paradigmas, pressuposições ou programas de pesquisa aceitos. Paradigmas determinam quais problemas resolver, instrumentos usar, técnicas de inferência e modelos a empregar;
- A lógica formal é rejeitada como ferramenta primária de análise da ciência, e substituída pela confiança em estudos detalhados de história da ciência. A decisão última sobre questões científicas reside na comunidade científica;
- O núcleo da ciência é constituído por pesquisa contínua associada a crítica contínua, mais do que por resultados aceitos;
- A ciência tem duas fases: ciência normal e revolucionária. A primeira opera em um paradigma compartilhado, e é responsável por causar revoluções científicas. Os eventos mais importantes na história da ciência são revoluções que mudam paradigmas. Por conta disso, o progresso na

³⁰Embora alguns considerem Popper como parte da nova Filosofia da Ciência, outros o consideram como um personagem de transição entre o positivismo lógico e a nova Filosofia da Ciência (Abimbola, 1983).

³¹Assim como Popper e, talvez, por ser ainda mais controverso e complexo, Feyerabend foi alvo de diferentes classificações de acordo com o viés da crítica e da obra tomada como referência. Adúriz-Bravo, Izquierdo e Stany (2002) classificam Feyerabend como um proponente do pós-modernismo, devido ao seu relativismo e proximidade com o Programa Forte da Sociologia da Ciência.

ciência é não-cumulativo, em geral envolvendo a mudança de paradigmas que são incomensuráveis;

- Dados observacionais não permanecem os mesmos antes e depois de uma revolução científica. Isto ocorre pelo fato de os paradigmas serem incomensuráveis (Abimbola, 1983, p. 186).

Podemos citar também Gaston Bachelard (1884-1962), que teceu críticas ao positivismo lógico (Adúriz-Bravo *et al.*, 2002; Beltran & Saito, 2012)³²; Ludwik Fleck (1896-1961), que influenciou os trabalhos de Thomas Kuhn e tem atraído maior atenção de filósofos da ciência e educadores nas últimas décadas; ou, ainda, autores mais recentes, como Ian Hacking (1936-).

Certamente estamos deixando de mencionar outros filósofos da ciência que se notabilizaram ao longo do século XX. Contudo, nosso objetivo é ilustrar que muito foi produzido, discutido e contra-argumentado a respeito do que é ciência e como ela funciona. Além disso, cada filósofo da ciência preocupado em propor uma teoria do conhecimento científico busca defender uma doutrina filosófica³³, de modo a apontar o que a ciência é ou deveria ser; e, também, como ela funciona ou deveria funcionar.

Forge (1979) argumentou que uma alternativa para abordar a Filosofia da Ciência no ensino seria adotar os métodos da filosofia mais do que suas teorias ou doutrinas. Ele cita, por exemplo, o uso da análise linguística como um método para avaliar o discurso científico, o qual se assenta no pressuposto de que “os hábitos linguísticos dos usuários de um discurso comum refletem conexões conceituais” (Forge, 1979, p. 114). A análise linguística dos termos comumente utilizados na Educação em Ciências, como teorias e modelos, poderia proporcionar melhores compreensões não só sobre ideias, conceitos e teorias científicas, mas, também, em termos amplos, melhores compreensões *sobre ciência*.

A proposta de Forge (1979) recorre à Filosofia, mais do que à Filosofia da Ciência, como um modo de minimizar o efeito de doutrinas filosóficas no ensino. Entretanto, ao exemplificar sua proposta por meio dos termos *teorias e modelos científicos*, o

³²No caso de Bachelard, contemporâneo a vários autores do positivismo lógico, mas proponente da linha filosófica francesa, sua crítica a tais autores se baseava no fato de que não deveríamos aceitar critérios de cientificidade *a priori*, não sendo a lógica o meio pelo qual refletiríamos sobre a ciência, mas sua história. A história da ciência forneceria a história da superação dos obstáculos epistemológicos. Sua análise evidenciaria que essa superação se dá por rupturas e não de maneira contínua, como era defendido pelos positivistas lógicos. Contudo, a ideia de progresso ainda persiste em Bachelard, para quem as sucessivas rupturas conduziram à verdade (Beltran & Saito, 2012).

³³Uma doutrina filosófica pode ser entendida, em termos gerais, como um “conjunto sistemático de concepções de ordem teórica ensinadas como verdadeiras por um autor, corrente de pensamento ou mestre” (Japiassú & Marcondes, 2001).

autor não considera que estes são objetos de reflexão não da Filosofia, mas da Filosofia da Ciência – a qual proporciona visões mais fundamentadas sobre esses conceitos.

O fato de se abordar um filósofo da ciência e sua particular doutrina filosófica não exclui a contribuição coletiva dada pela Filosofia da Ciência, no sentido de compreender o que é ciência e como ela funciona. Hodson (1985) identificou diversas questões filosóficas propostas no decorrer da década anterior ao seu trabalho, as quais se amparavam na Filosofia da Ciência³⁴ e eram dirigidas ao ensino: problemas sobre a observação e a indução; falseacionismo popperiano; problemas do falseacionismo popperiano; visão kuhniana; e visão pós-kuhniana. Cada uma dessas questões implica em uma perspectiva filosófica diferente; todavia, levando-se em conta também sua relevância para o currículo, podem ser estabelecidos alguns pontos de concordância entre elas:

- i. Observações dependem de nossa percepção sensorial; muitas vezes são inadequadas, e, portanto, são falíveis e não confiáveis.
- ii. Observações são dependentes de teoria, e a teoria frequentemente (embora nem sempre) precede a observação.
- iii. Observação indireta depende de uma teoria adicional da instrumentação.
- iv. Observações e teorias têm estatutos logicamente diferentes.
- v. Conceitos e teorias são produzidos por atos criativos de abstração e invenção.
- vi. Teorias são frequentemente justificadas *post hoc* por evidência experimental, mas para uma teoria ser aceita como científica deve haver evidências (concebíveis) a favor ou contra.
- vii. Conceitos científicos têm seu significado no papel que eles desempenham dentro de uma estrutura teórica, mais do que em definições lexicais formais.
- viii. Conhecimento científico e teorias científicas podem ter somente estatuto temporário. Conceitos e teorias mudam e se desenvolvem; algumas desaparecem.
- ix. Indução é inadequada como uma descrição do método científico (Hodson, 1985, p. 31).

Além desses, Hodson (1985) destaca outros aspectos como mais problemáticos, porém, tão importantes quanto os anteriores. São eles: os aspectos concernentes ao papel da teoria na *explicação* de fenômenos; a distinção entre teorias e modelos (a

³⁴Hodson (1985) citou o filósofo John Losee ao apontar que a Filosofia da Ciência se preocupa em responder a quatro questões: i) Quais características distinguem a investigação científica de outros tipos de investigações?; ii) Quais procedimentos os cientistas devem seguir na investigação da Natureza?; iii) Quais condições devem ser satisfeitas para uma explicação científica ser correta?; iv) Qual é o estatuto cognitivo de leis e princípios científicos? (Losee, 1980 *apud* Hodson, 1985).

teoria tem valor de verdade, enquanto os modelos não, mas ambos têm o papel de *interpretar* dados); a não concordância em relação ao que constitui o método científico (no entanto, isso não significa que a ciência não tenha *um* método e, tal como o conhecimento científico, ele muda e se desenvolve); a necessidade de alguma compreensão a respeito da ciência ser uma atividade social complexa (Hodson, 1985).

No Brasil, Silveira (1992) apresentou sua síntese a respeito de compreensões semelhantes presentes em diferentes filósofos da nova Filosofia da Ciência (Popper, Kuhn, Hanson e Lakatos) sem, contudo, explicitar se tais compreensões deveriam sofrer adaptações tendo em vista objetivos educacionais:

1. A observação e a experimentação por si sós não produzem conhecimento. O "método indutivo" é um mito.
2. O conhecimento prévio determina como vemos a realidade, influenciando a observação.
3. O conhecimento científico é uma construção humana que tem como objetivo compreender, explicar e também agir sobre a realidade. Não podendo ser dado como indubitavelmente verdadeiro, é provisório e sujeito a reconstruções.
4. Na construção de novos conhecimentos participam a imaginação, a intuição, a criação e a razão. A inspiração para produzir um novo conhecimento pode vir inclusive da metafísica.
5. A aquisição de um novo conhecimento é sempre difícil e problemática. Os cientistas são relutantes em abandonar as teorias de suas preferências mesmo quando parecem conflitar com a realidade. O abandono de uma teoria implica em reconhecer outra como melhor (Silveira, 1992, p. 38).

Alternativas às abordagens filosóficas baseadas em afirmações consensuais sobre a ciência também são possíveis de serem levadas ao ensino, como, por exemplo, a abordagem estruturada em conceitos e questões de Machamer (1998). Esse autor estabeleceu um conjunto de conceitos interdefinidos e inter-relacionados, considerados por ele como básicos para a Filosofia da Ciência. Apesar de Machamer (1998) apresentar sua compreensão para cada um desses conceitos, ele próprio sugeriu flexibilidade em seu uso, pois o delineamento dos conceitos visa mais sugerir uma diversidade de aspectos que podem ser discutidos do que apontar o que *deve* ser discutido. Naturalmente, sua descrição carrega uma visão filosófica particular sobre ciência. É interessante notar, ainda, que nenhuma referência aos autores que subsidiam suas ideias é feita por Machamer (1998) ao longo da apresentação dos conceitos e questões abaixo:

- *Objetivos e metas da ciência.* Envolve as motivações e propósitos para fazer ciência. As seguintes questões podem ser elencadas: Por que cientistas fazem o que

fazem? Por que a sociedade valoriza a ciência como um empreendimento e, portanto, a defende e apoia?

- *Limites da ciência.* Uma parte da compreensão sobre a natureza do conhecimento científico envolve compreender o que a ciência não pode fazer e, também, o que a ciência não objetiva fazer.

- *Descoberta.* Pensar sobre o fenômeno da descoberta científica proporciona a compreensão de que o cientista imerso na investigação científica elabora “questões para a Natureza”.

- *Explicação.* Descobertas podem resultar na unificação de domínios de pesquisa ou criação de novos conceitos que são introduzidos nas explicações. Elas almejam ser respostas a questões quanto ao por que e como. Assim, podemos pensar em: Que tipo de coisas são explicadas?; e Quais coisas são explicações?

- *Teoria, lei, modelo e hipóteses, paradigmas e tradições de pesquisa.* Termos frequentemente utilizados para descrever os veículos nos quais as explicações científicas são realizadas.

- *Evidência, teste, confirmação, falsificação e previsão.* Conceitos envolvidos no processo de justificação ou certificação da ciência. Eles são os meios pelos quais os filósofos visam descrever a adequação e eficácia de leis, teorias e tradições de pesquisa.

- *Experimentos são tipos de teste empírico.* Experimentos, quase sempre, são projetados para avaliar como uma teoria ou hipótese se conecta com um evento individual do mundo. Podem ser relacionados com o conceito anterior através das seguintes questões: Qual relação deve existir entre uma teoria e a evidência que a confirma? Quando uma observação ou resultado experimental conta como evidência para uma teoria? Todas as teorias têm que gerar previsões?

- *Implicações sociais, culturais, políticas e éticas.* O autor delimita apenas o último, descrevendo, por exemplo, as responsabilidades dos cientistas em relação aos usos do conhecimento científico: Que limites deveriam existir sobre os tipos e usos da investigação científica? Quais responsabilidades o cientista individual tem com aqueles que financiam a pesquisa ou para com aqueles que podem ser afetados por ela?

Outra proposta que não se compromete com afirmações consensuais sobre a ciência é apresentada por Adúriz-Bravo, Izquierdo e Estany (2002) e se orienta pela

análise de três escolas filosóficas desenvolvidas ao longo século XX na Filosofia da Ciência: i) o positivismo lógico e a concepção herdada; ii) o racionalismo crítico e a nova Filosofia da Ciência; e iii) o pós-modernismo e visões contemporâneas³⁵. A seleção de tópicos particulares, ou de questões epistemológicas centrais que perpassam as três escolas, pode promover melhores compreensões sobre a ciência, desde que se tenha claro o *público* (a quem ensinamos Filosofia da Ciência?), o *contexto* (quando e onde?), a *finalidade* (para quê?) e o *formato* (como?).

Adúriz-Bravo e colaboradores (2002) identificam os seguintes *critérios teóricos estruturantes*, isto é, ideias fundamentais que conferem identidade à Filosofia da Ciência e são adequadas ao ensino dessa disciplina:

- *Correspondência e racionalidade*: uma das questões mais antigas da Filosofia da Ciência, a qual envolve a natureza e o alcance da correspondência que existe entre o conhecimento científico e a realidade que é representada;
- *Representação e linguagem*: teorias e modelos, enquanto representações, são expressas e comunicadas por meio de linguagens (formal, simbólica, computacional, etc.), tendo sido objetos de diferentes análises de sua estrutura e papel ao longo do século XX;
- *Intervenção e método*: o método científico, que envolve uma intervenção sobre o mundo, tem sido preocupação dos filósofos da ciência há muito tempo. Diferentes posições foram concebidas a esse respeito, desde a existência de um único método na ciência até a inexistência de qualquer método;
- *Contexto e valores*: discussões sobre os mecanismos pelos quais um conhecimento é validado e incorporado ao conhecimento estabelecido (contextos de descoberta e justificação). Inclui, ainda, um contexto de aplicação, que trata da relação entre ciência e tecnologia;
- *Evolução e julgamento*: discussões sobre a evolução das disciplinas científicas e sobre os problemas da mudança conceitual e dos mecanismos pelos quais os cientistas, individual e coletivamente, selecionam os modelos teóricos;

³⁵A escola (i) se caracteriza pela ênfase na metodologia da ciência e em um enfoque lógico e linguístico para a análise estrutural do conhecimento científico; a escola (ii) critica a escola anterior no sentido de destacar suas limitações, fazendo uso da História da Ciência para avaliar seus modelos epistemológicos; e a escola (iii) busca alternativas mais ou menos extremas quanto ao *estatuto* do conhecimento científico, geralmente igualando-o a outras formas de conhecimento (Adúriz-Bravo *et al.*, 2002).

- *Normatividade e recursão*: reflexão que a Filosofia da Ciência empreende sobre o seu papel como metaciência e sua relação com outras ciências, considerando seu objetivo de propor modelos teóricos que podem incidir sobre e guiar o desenvolvimento das ciências.

Há, ainda, quem critique o ensino da Filosofia da Ciência pautado unicamente na sequência de escolas e *-ismos*, ou seja, estruturado apenas na história da Filosofia da Ciência, e voltado para futuros cientistas das mais diferentes áreas, com duração limitada a um semestre, por exemplo. Grüne-Yanoff (2014) considera que esse formato é familiar na formação de futuros filósofos da ciência, mas indaga qual seria a relevância de um futuro cientista conhecer qual programa filosófico antecedeu ou sucedeu Carnap, ou de que modo Lakatos discordou de Kuhn:

Os conceitos e modelos úteis, oriundos de diferentes autores e escolas, devem, evidentemente, ser ensinados; e isso pode ser, ainda, útil para contrastá-los uns com os outros em suas respectivas funções e deficiências; mas não existe razão para ensinar estudantes de ciências a como classificar historicamente esses diferentes modelos e ferramentas, e como eles se conectam a programas mais amplos (Grüne-Yanoff, 2014, p. 128).

As questões mencionadas são de interesse mais filosófico do que científico, o que contrastaria com o objetivo de formar melhores cientistas, público para o qual Grüne-Yanoff (2014) dirige suas considerações sobre a importância de um curso de Filosofia da Ciência. Por conta disso, não nos parece que tais críticas possam ser dirigidas à proposta anterior de Adúriz-Bravo, Izquierdo e Estany (2002), pois esta se dirige à formação de professores de ciências e se baseia em conceitos que atravessam a Filosofia da Ciência, de modo que a história desta disciplina tem a função de contextualizar esses conceitos, não sendo um fim em si mesma.

Grüne-Yanoff (2014) apresentou sua proposta voltada à formação de futuros cientistas, a qual fornece ferramentas analíticas, oriundas da Filosofia da Ciência, para analisar e avaliar a prática científica. Entre essas ferramentas, incluem-se: o conceito de falsificação ou modelo de inferência da melhor explicação, destinado a analisar e avaliar o teste de hipóteses científicas; as noções de abstração e modelos; os conceitos de validade interna e externa, para avaliar a realização de experimentos científicos; e os modelos de explicações, dirigidos para a avaliação de projetos científicos. Grüne-Yanoff (2014) argumentou que aspectos não epistêmicos também

são importantes para avaliar a prática científica, e elencou os seguintes aspectos éticos:

(1) *Honestidade científica*: questões quanto a “cozinhar” ou criar dados; plagiar outras pesquisas científicas; diminuir a responsabilidade de colaboradores ou distorcer de qualquer modo o processo de pesquisa;

(2) *Condução de experimentos*: preocupações em relação ao modo de conduzir experimentos que envolvem humanos ou animais, e se eles são adequados aos propósitos;

(3) *Consequências da escolha de uma determinada pesquisa*: considerações sobre como lidar com riscos como poluição, potenciais desastres, efeitos políticos e complicações éticas;

(4) *Domínio de deliberação*: relação entre pesquisa científica e elaboração de políticas, as quais podem resultar em tensões entre valores epistêmicos e de deliberação;

(5) *Papel dos cientistas como especialistas*: função dos cientistas em democracias liberais e na tomada de decisões.

Grüne-Yanoff (2014) recomendou que as discussões em torno dos aspectos epistêmicos e não-epistêmicos devem ser conduzidas a partir de casos concretos, promovendo-se o levantamento e análise das ideias dos estudantes, com o intuito de promover reflexões sobre tais aspectos, mais do que encontrar uma resposta. O mesmo autor esclareceu que nem todos os tópicos selecionados são adequados para audiências de futuros cientistas de diferentes áreas, principalmente quando exigem conhecimentos consideráveis sobre teorias filosóficas ou ferramentas analíticas. Esse aprofundamento excessivo pode ir além do escopo do curso – que é formar melhores cientistas –, bem como da capacidade dos estudantes (que conhecem pouco a filosofia)³⁶.

Avaliamos que duas tendências se sobressaem em relação a qual abordagem filosófica pode promover melhores compreensões sobre ciência, no contexto do ensino: uma amparada na nova Filosofia da Ciência e na contribuição de seus autores proeminentes, delimitando aspectos comuns entre eles a respeito do que é ciência e

³⁶O autor cita a irrelevância de se discutir aspectos do realismo científico para futuros cientistas, pelo menos em cursos obrigatórios. Grüne-Yanoff (2014) sugere que discussões como essa, de natureza mais puramente filosófica, sejam feitas em cursos avançados e não obrigatórios, pois considera que não contribuem para o objetivo de formar melhores cientistas.

como ela funciona; e outra baseada nas discussões de temas/tópicos/questões concernentes à Filosofia da Ciência e de interesse educacional, sem que isso implique na adoção de uma perspectiva específica ou um único conjunto de ideias defendidas por um grupo de filósofos.

De acordo com esta segunda tendência, considerando que ela não delimita um grupo de autores ou escola filosófica, haveria flexibilidade na seleção de autores para subsidiar as discussões dos temas, tópicos ou questões de interesse. Ficaria em aberto, para o professor, a questão de quais filósofos, ou escolas filosóficas selecionar, e com quais critérios.

Como veremos mais adiante no capítulo voltado à *Natureza da Ciência na Educação em Ciências*, a primeira tendência foi majoritária nas últimas três décadas, principalmente no contexto anglo-saxão (EUA e Reino Unido), mas também influenciou, ainda que com diferentes ênfases, países ibero-americanos como Brasil, Portugal e Espanha.

1.3.4. Algumas recomendações e estratégias sobre como abordar a Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências

Historiadores da ciência e filósofos da ciência (principalmente os que desenvolvem epistemologias da ciência historicizadas) argumentam em favor do uso de estudos de caso históricos para promover melhores compreensões sobre a ciência no ensino. Não se questiona o benefício de tais abordagens, na medida em que contextualizam enunciados filosóficos. Contudo, educadores devem compreender que os filósofos da ciência têm por objetivo defender uma *doutrina filosófica* (Forge, 1979) quando empregam estudos de caso históricos em suas argumentações.

Douglas Allchin (2003), historiador da ciência interessado em levar discussões sobre a Natureza da Ciência para o ensino, a partir de estudos de caso históricos, destacou que os filósofos da ciência podem utilizar os casos como *testes planejados de hipóteses metacientíficas*. Tomando como exemplo as diferentes interpretações dadas à metodologia empregada por Galileu Galilei (1564-1642), observa-se que ela já foi interpretada como uma metodologia aristotélica, passando por uma hipotético-dedutiva e até como uma metodologia anarquista feyerabendiana, para citar apenas

algumas delas³⁷. Em alguns casos, argumentou-se que a interpretação apresentada se aplicava não só à metodologia de Galileu, mas, por extensão, a toda a ciência.

Múltiplas perspectivas sobre um mesmo objeto, pessoa ou evento enriquecem nosso olhar a seu respeito, na medida em que enfatizam diferentes dimensões. O contraste entre as diferentes perspectivas pode levar à identificação das potencialidades e limites de cada uma, e também a uma compreensão mais ampla e profunda do que se estuda.

Allchin (2003) esclareceu que o estudo de caso histórico considerado por um filósofo da ciência não deve ser seletivo e incompleto, omitindo fatos relevantes, suposições e limites que eles implicam, a fim de defender uma dada doutrina filosófica. O estudo de caso histórico não deve servir como ilustração ou exemplo causal para legitimar uma doutrina: “o erro fundamental aqui é *tentar ajustar a história em uma concepção filosófica particular da ciência*” (Allchin, 2003, p. 324, itálico no original). Além disso, os pressupostos adotados pelos filósofos podem limitar a compreensão do estudo de caso e, assim, diminuir sua riqueza. Ou seja, o objetivo de representar uma imagem da ciência mais autêntica possível no ensino pode ser prejudicado pela distorção histórica preocupada em embasar uma doutrina filosófica. A sugestão de Allchin (2003) é que, assim como podemos desafiar interpretações históricas desatualizadas no ensino, concepções filosóficas podem ser desafiadas quando distorcem a História da Ciência e as lições sobre a natureza da ciência.

O que Allchin (2003) não explicita, mas que consideramos importante, é a necessidade de haver um equilíbrio entre a análise filosófica (que focaliza o aspecto que se pretende discutir sobre a ciência) e aquilo que o estudo de caso histórico pode dizer sobre a ciência, sem que isso implique na supremacia de uma abordagem sobre a outra. Em suma, a Filosofia da Ciência não deve “dobrar” a História da Ciência a qualquer custo.

Nesse sentido, é preciso ter claro que o campo da História da Ciência, atualmente, não se guia apenas pela epistemologia, isto é, pela análise crítica dos fundamentos, hipóteses e resultados das diversas ciências. O desenvolvimento, a partir da década de 1960, da contemporânea Historiografia da Ciência incorporou e fortaleceu sua relação com outros campos do saber, como História, Sociologia, Antropologia e outras áreas das humanidades, de forma a levar em consideração a complexidade de fatores

³⁷Lombardi (1997) também destaca as diferentes interpretações dadas a Galileu, com o intuito de ilustrar o caráter construtivo e interpretativo da história.

relacionados à ciência. Nessa nova forma de escrever a História da Ciência, a epistemologia seria um enfoque possível, mas não o único (Beltran & Saito, 2012).

Outro aspecto a considerar, já mencionado para o caso da História da Ciência, é que as preocupações da Educação em Ciências não são as mesmas que motivam o trabalho dos filósofos da ciência – cujas atividades não se direcionam ao ensino de ciências (Wilson & Cowell, 1982). Está claro que as discussões empreendidas pelos filósofos da ciência podem melhorar o ensino, pois o estudo sistemático e criterioso conduzido pelos pesquisadores dessa área contribui para compreender a ciência (Bastos Filho, 2012). Contudo, devemos entender que, ao retirá-las do contexto da Filosofia da Ciência, levando-as para um novo contexto, o da Educação em Ciências, as ideias dos filósofos da ciência adquirem novos significados. Afinal, passam a ser interpretadas por um grupo social distinto (educadores em ciências), que visam empregar tais ideias de acordo com objetivos educacionais, amparados por teorias de ensino-aprendizagem e pelos resultados da pesquisa acumulados nesse campo.

Como destacaram Wilson & Cowell (1982), aqueles que acreditam que Popper ou Kuhn, por exemplo, estavam preocupados com a Educação em Ciências, certamente não conhecem em profundidade os trabalhos desses filósofos, nem a Filosofia da Ciência de maneira ampla. Por outro lado, professores de ciências devem conhecer as ideias desses filósofos a fim de adquirir subsídios para dar novos significados a seus próprios discursos e práticas educacionais.

Por fim, Grüne-Yanoff (2014) aponta alguns obstáculos que devem ser considerados na estruturação de um curso de Filosofia da Ciência voltado à formação de futuros cientistas de diferentes áreas. Esses obstáculos, bem como as sugestões para superá-los ou minimizá-los, podem ser generalizados, em nosso entendimento, para cursos de Filosofia da Ciência voltados para a formação de professores. Dentre os obstáculos citados por Grüne-Yanoff (2014), destacamos os seguintes:

1. A maioria dos estudantes não possui treinamento em humanidades que vá além do aprendido no ensino básico, e não sabe o que esperar de um curso de Filosofia da Ciência;
2. Muitos estudantes não têm motivação intrínseca para escolher tal curso;
3. Muitos estudantes não têm conhecimento sobre o que é a pesquisa científica, tampouco a vivenciaram (Grüne-Yanoff, 2014, p. 129).

O primeiro obstáculo implica que conceitos, ideias, teorias e ferramentas da Filosofia da Ciência não devem ser tratados pelo professor como sendo óbvios ou já

conhecidos pelos estudantes. O professor deve fornecer esclarecimentos e buscar estabelecer relações entre os temas e o campo de estudo dos alunos. Como salienta Grüne-Yanoff (2014), a falta de familiaridade comumente produz desmotivação.

Para lidar com o segundo obstáculo, o professor de Filosofia da Ciência deve, desde o início, explicitar os objetivos da disciplina. Uma estratégia consiste em fornecer exemplos reais da ciência, destacando argumentos problemáticos e a ausência de justificativas para determinadas práticas dos cientistas. A partir desses exemplos, o professor pode destacar que a disciplina visa explicitar as dificuldades e sutilezas da pesquisa científica, levando os estudantes, assim, a compreender a importância da disciplina que cursarão (Grüne-Yanoff, 2014).

Por fim, o terceiro obstáculo pode ser minimizado pela utilização de contextos familiares aos estudantes, que permitam a discussão sobre a ciência e uma aproximação com a prática científica. Estudos de caso históricos podem contemplar as discussões sobre a ciência, enquanto que a leitura de artigos contemporâneos de pesquisa científica pode não apenas propiciar discussões sobre a ciência, mas, também, sobre como ela funciona na atualidade (Grüne-Yanoff, 2014).

1.4. A Sociologia da Ciência na Educação em Ciências

1.4.1. Razões para a implementação da Sociologia da Ciência no ensino

A defesa de abordagens históricas e filosóficas no Ensino de Ciências tem longa tradição, a ponto de, em geral, ambas se encontrarem associadas nos discursos de seus partidários. Contudo, propostas fundamentadas no campo da Sociologia da Ciência³⁸ não têm a mesma tradição no âmbito do ensino, e ainda não atingiram o mesmo patamar de discussão que a História e a Filosofia da Ciência.

Esse ponto pode ser ilustrado pelos trabalhos Michael Matthews, que têm, ainda hoje, grande repercussão na comunidade dedicada à linha de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências. A publicação de artigos aproximando tais campos, no final dos anos 1980 (Matthews, 1989) e início dos anos 1990 (Matthews, 1992),

³⁸Cunningham e Helms (1998) descrevem que o campo da Sociologia da Ciência está preocupado em compreender como a ciência é praticada e construída pela sociedade, investigando a prática científica em termos de relações humanas, crenças e valores, bem como as interações recíprocas e influências entre ciência, política, economia, cultura e religião.

culminariam no seu livro *Science teaching: The role of History and Philosophy of Science* (Matthews, 1994). Embora seus trabalhos tenham destacado a História da Ciência e a Filosofia da Ciência, Matthews lembrou, em diferentes momentos – como, por exemplo, no artigo de 1992 – que também a Sociologia da Ciência poderia fornecer respostas a alguns problemas do Ensino de Ciências. No entanto, pouco espaço foi dedicado às contribuições particulares desse campo em seus trabalhos, que se concentram nas contribuições da História e da Filosofia da Ciência. Esse viés ou opção do autor parece refletir uma resistência, por parte da comunidade de educadores em ciências, em relação à Sociologia da Ciência.

De maneira semelhante, Hodson (1985) reconheceu a importância de aspectos relativos à Sociologia da Ciência no ensino; porém, ao apresentar sua lista de aspectos consensuais sobre a natureza da ciência, a Sociologia da Ciência aparecia com menor destaque:

Não é apropriado entrar aqui em uma discussão de questões sociológicas em torno da prática da ciência pela comunidade de cientistas, salvo notar que alguma compreensão de que a ciência é uma atividade social complexa, é um importante, embora invariavelmente negligenciado, aspecto do currículo (Hodson, 1985, p. 36, grifo nosso).

Embora abordagens sociológicas no ensino não tenham sido extensivamente propostas e avaliadas, tal como as de natureza histórica e filosófica, podemos identificar autores que analisaram sua pertinência. Pode-se observar que alguns trabalhos, cujo objetivo principal era defender a importância da História da Ciência ou da Filosofia da Ciência no ensino, defenderam, ainda que de maneira breve e secundária, aspectos concernentes à Sociologia da Ciência.

Ivany (1969) destacou que respostas à questão “O que os cientistas fazem?” não podem se limitar a aspectos concernentes ao laboratório e à análise dos resultados obtidos nele. A atividade científica envolve, também, a comunicação e a avaliação de tais resultados pela comunidade científica. Entre o que se faz no laboratório e o que é, de fato, comunicado nos artigos científicos há uma grande diferença. Os artigos publicados assumem formas e estilos canônicos, adotados pelos grupos de cientistas em suas respectivas épocas e áreas de pesquisa.

Em uma série de artigos discutindo as implicações de diferentes abordagens históricas, Whitaker (1979a, 1979b) argumentou que a chamada *quasi-história* se caracteriza, dentre outros aspectos, por apresentar a descoberta científica de um

conceito em termos triviais (no sentido de obviedade, como se qualquer pessoa pudesse ter chegado àquela conclusão) ou geniais (quem o fez estava “à frente do seu tempo”), realizada por um cientista isolado e sendo aceita imediatamente pelos demais cientistas da época. Para Whitaker (1979a, 1979b), isso se deve, em parte, à ausência de considerações a respeito da dimensão social da ciência. Ignoram-se os fatos de que os cientistas desenvolvem o conhecimento a partir de ideias de outros cientistas, e de que é necessária a formação de um consenso científico, demandando tempo, esforço e convencimento. Sua conclusão é de que “tão importante quanto o estudo da história da ciência é o estudo da sua sociologia” (Whitaker, 1979b, p. 242).

Visando fundamentar abordagens sociológicas, Whitaker citou alguns autores³⁹ cujas obras podem servir a essa finalidade. Por exemplo: a compreensão de que o conhecimento científico é validado pelo estabelecimento de consensos é tratada por Ziman (1979), destacando-se elementos institucionais, comunicacionais e educacionais envolvidos nesse processo. A discussão sobre o trabalho do cientista e sua relação com as pressões e necessidades da sociedade podem ser fundamentadas pela leitura de Ziman (1981). Reflexões sobre o modo pelo qual ocorrem mudanças nas crenças científicas, por sua vez, podem ser subsidiadas por Kuhn (2009).

No âmbito do enfoque sociológico para a História da Ciência, ou da assim chamada *história social da ciência*, Sánchez-Ron (1988) distingue entre uma história *internalista* – cujo foco reside nas ideias, conceitos, teorias e experimentos – e uma história *externalista* da ciência⁴⁰ – interessada nos condicionantes ou circunstâncias de natureza social, econômica e política envolvidos na atividade científica. Para

³⁹Naturalmente, Whitaker (1979b) citou as edições de sua época e em inglês. Procuramos citar as edições mais atuais e traduções para o idioma português, buscando oferecer facilidade de acesso aos leitores brasileiros. No entanto, é possível que haja mudanças de uma edição a outra, assim como entre obras originais e traduzidas.

⁴⁰A distinção entre as abordagens *internalista* e *externalista* teve sua importância na configuração do campo da História da Ciência ao longo do século XX. A primeira foi hegemônica até as primeiras décadas do século XX, e considerava a evolução das ideias científicas como produtos independentes de seu contexto e meio. A partir da década de 1930, os historiadores da ciência começaram, paulatinamente, a considerar em seus trabalhos *como e em que medida* a ciência poderia ser influenciada por fatores sociais. Essa perspectiva resultou, por exemplo, em análises acerca das raízes socioeconômicas dos *Principia* de Isaac Newton (1643-1727), ou a respeito de que tipo de ciência foi produzido na China (Alfonso-Goldfarb, 1994). As diferenças entre as duas abordagens conduziram ao debate acerca da natureza das influências externas, de quando, como e em que grau ocorrem. Atualmente, a dicotomia internalismo-externalismo se encontra superada, na medida em que um consenso historiográfico se estabeleceu em torno da ideia de que o estudo da História da Ciência deve integrar as duas dimensões (Alfonso-Goldfarb & Beltran, 2004).

promover a história externalista, Sánchez-Ron (1988) aponta uma série de sociólogos da ciência, como, por exemplo, Robert Merton e Steven Shapin.

Sob outra perspectiva, Hodson (1985, 1986) defendeu a importância da Sociologia da Ciência no ensino por conta da recorrência entre estudantes, professores e cientistas da concepção segundo a qual a ciência é uma atividade neutra, não sujeita a influências externas e livre de valores. Hodson (1985, 1986) observou a negligência dos currículos da época em relação às dimensões sociais e humanas da ciência. Além disso, Hodson (1985, 1986) alertou para a escassez de materiais voltados à discussão da mudança científica em termos sociais, econômicos e históricos, e para a urgência de produzi-los, tendo em vista objetivos educacionais.

Ainda que existam muitos debates em aberto na Sociologia da Ciência, Hodson (1985, 1986) afirmou não haver dúvida de que a ciência é uma atividade social que compreende pessoas trabalhando em grupos, comunicando, compartilhando ideias e procedimentos, controlando a admissão de novos membros à comunidade e publicando novos conhecimentos.

Propostas mais contundentes e fortemente fundamentadas no campo da Sociologia da Ciência surgiram a partir da década de 1990. Diferentemente dos trabalhos citados até aqui, nos quais as contribuições da Sociologia da Ciência aparecem de modo marginal e secundário, nos trabalhos subsequentes os autores e autoras empreenderam reflexões mais aprofundadas a esse respeito.

A educadora estadunidense Christine Cunningham, em conjunto com colaboradores (Kelly, Carlsen, & Cunningham, 1993; Cunningham & Helms, 1998), observou que o objetivo de fornecer aos estudantes oportunidades para aprender como a ciência é desenvolvida, qual o papel da ciência na sociedade, e torná-los aptos a tomarem decisões bem fundamentadas em questões que envolvam ciência, baseou-se, principalmente, na incorporação das contribuições da História e da Filosofia da Ciência. As contribuições de outros campos, em especial os oriundos da Sociologia da Ciência, foram subestimados ou mesmo negligenciados. A Sociologia da Ciência complementar, de acordo com o seu próprio viés, os dois campos mencionados, tornando a Educação em Ciências mais autêntica e inclusiva, subsidiando e aprimorando o conteúdo, a estrutura e a pedagogia das aulas de ciências. As razões para incorporar as contribuições da Sociologia da Ciência ao ensino seriam:

(a) preparação de todos os estudantes para os problemas e decisões que eles enfrentarão em nossa sociedade cada vez mais dependente da ciência; (b) produzir visões mais interessantes e precisas da ciência; (c) atrair, interessar e reter mais estudantes em ciência, especialmente mulheres e minorias; e (d) encorajar os estudantes a explorar novos métodos e espaços de problemas (o que poderia, por sua vez, mudar a face da ciência atual) (Cunningham & Helms, 1998, p. 496).

As compreensões sobre ciência discutidas no âmbito da Sociologia da Ciência poderiam, também, fornecer subsídios para orientar o processo de ensino-aprendizagem. Por exemplo, a compreensão do empreendimento científico em termos sociais propiciaria ao professor promover situações nas quais todos os seus estudantes teriam voz para expressar suas opiniões, oferecer explicações e gerar ideias ou questões (Cunningham & Helms, 1998).

O sociólogo da ciência Harry Collins (2007) argumentou a respeito da importância da Sociologia do Conhecimento Científico para a formação de cientistas e também de estudantes de outras áreas. Collins (2007) considerou importante apresentar aos alunos uma visão sobre a ciência diferente do que ele chama de *histórias mitológicas*, comumente difundidas no Ensino de Ciências. Nessas histórias, tudo ocorre imediatamente e sem esforço, fruto do brilhantismo dos cientistas – um retrato muito distante da ciência, conforme tem sido mostrado pelos estudos sociológicos. Adicionalmente, Collins (2007) argumentou que a abordagem sociológica auxiliaria os futuros cientistas a compreenderem a rotina e as dificuldades presentes no dia-a-dia de um laboratório, e a conhecerem estratégias de como proceder em suas atividades.

Os educadores Meyer e Avery (2010) identificaram duas tendências em relação às contribuições da Sociologia da Ciência para a Educação em Ciências: uma pautada em ampliar os conteúdos relativos à natureza da ciência e, assim, promover melhores compreensões sobre a ciência; e outra, minoritária, caracterizada por investigar as salas de aula em termos análogos à atividade científica realizada em nível microsociológico, isto é, utilizando as metodologias da Sociologia para explorar as interações entre estudantes e entre professor e estudantes.

A partir desse panorama, Meyer e Avery (2010) apontam uma terceira tendência, ainda não explorada, referente ao uso de temas centrais discutidos pela Sociologia do Conhecimento Científico para investigar o conhecimento e a prática de ensino dos professores. Esse tipo de investigação poderia fornecer contribuições como as que seguem:

1. A abordagem sociológica baseada em atores, artefatos e agentes diminui a dependência de abordagens com viés psicológico, concentrando-se a atenção mais no que as pessoas *fazem* do que no que elas *pensam*;

2. A discussão explícita de noções consideradas normalmente como certas pode destacar caminhos e mecanismos que lhes conferiram esse estatuto;

3. A abordagem sociológica empreende um olhar dialético e situado da realidade, pelo qual concepções internas e realidade externa são simultaneamente formadas, por meio da influência de uma sobre a outra;

4. A maturidade do campo, em termos de instituições, literatura e conhecimentos de base, permite refinar, desde que adaptados ao novo contexto, os métodos qualitativos mais gerais empregados na investigação dos conhecimentos e prática dos professores⁴¹.

Há, ainda, quem defenda a incorporação de conteúdos da Sociologia da Ciência em discussões sobre ciência, para ampliar os critérios de demarcação entre ciência e não-ciência no âmbito do ensino pré-universitário. Segundo Zemplén (2009), critérios epistêmicos tradicionais da Filosofia da Ciência, como falseacionismo, simplicidade, poder explicativo e testabilidade são desatualizados ou vagos. Ele não os rejeita, mas entende que esses critérios adquirem seus significados em um sistema social, e devem ser acompanhados por critérios sociais, como, por exemplo, a revisão por pares. A incorporação de critérios sociais também é justificada em termos cognitivos, pois são mais fáceis de serem ilustrados e mais familiares aos estudantes do que os critérios epistêmicos. Incluir discussões oriundas da Sociologia da Ciência pode ajudar os estudantes a compreender a ciência como uma instituição voltada a produzir conhecimentos em nossa sociedade, composta por especialistas que garantem a confiabilidade dos conhecimentos baseados em valores (sociais e epistêmicos).

No contexto brasileiro, Zanetic (1989) explorou as contribuições da Sociologia da Ciência no âmbito da história externalista da ciência como forma de destacar as influências de aspectos sociais, econômicos, políticos e religiosos sobre o desenvolvimento científico. Esses aspectos externalistas seriam importantes, em

⁴¹A perspectiva sociocultural na Educação em Ciências, baseada em trabalhos seminais de Lev Vygostky (1896-1934) e desdobramentos realizados por outros autores, tem proporcionado contribuições dessa natureza há algumas décadas, ainda que suas origens, fundamentos teórico-metodológicos, objetivos e objetos de estudos não sejam os mesmos da Sociologia da Ciência da segunda metade do século XX. Nesse sentido, uma parcela de contribuições advindas da Sociologia da Ciência não seriam novas para a Educação em Ciências.

conjunto com aspectos históricos e filosóficos internalistas (isto é, aspectos predominantemente epistemológicos), para ensinar a Física enquanto cultura. Apesar da ênfase na História da Ciência, Zanetic (1989) destacou que outras fontes podem subsidiar o ensino de condicionantes sociais, econômicos, religiosos e culturais que marcam a ciência.

Fonseca (2007) identificou, com base em pesquisas empíricas, a imagem ambivalente da ciência e da tecnologia perante o público amplo: uma parcela da população enaltece a ciência e a tecnologia como fontes de soluções para os problemas da sociedade, enquanto outro grupo as encara com desconfiança e preocupação. A fim de romper essa dicotomia, Fonseca (2007) defende a Sociologia da Ciência como forma de promover melhor compreensão sobre como se dá a produção do conhecimento científico, não só para o público mais amplo, isto é, na formação de cidadãos, mas também para futuros cientistas. No contexto brasileiro, a Sociologia da Ciência teria o papel de relacionar diretamente o fazer científico com a realidade social de desigualdade existente no país, e também de promover uma postura fundamentada no compromisso social por parte dos que produzem, utilizam e são influenciados pela ciência e tecnologia.

Em linhas gerais, poucos trabalhos com o objetivo de avaliar as contribuições específicas da Sociologia da Ciência foram identificados em periódicos nacionais dedicados à pesquisa em Educação em Ciências e Ensino de Ciências. Por outro lado, verifica-se maior número de artigos que adotam a perspectiva de um sociólogo da ciência em particular. Por exemplo, a perspectiva de Bruno Latour e Steve Woolgar, expressa em seu livro *A Vida de Laboratório*, foi utilizada para compreender e promover aspectos sobre a natureza da ciência, como as características do fazer científico no dia-a-dia dos laboratórios (Queiroz & Almeida, 2004; Roxael, Paiva, Raquel & Oliveira, 2015). Trabalhos recentes recorreram ao olhar do sociólogo francês Pierre Bourdieu (1930 – 2002) para analisar o perfil de estudantes de cursos universitários, e aspectos envolvidos em sua evasão (Lima Junior, Ostermann & Rezende, 2012; Massi & Villani, 2014). As ideias de Bourdieu também foram utilizadas para avaliar a dimensão arbitrária na escolha de teorias científicas e as questões de poder subjacentes a essa escolha (Lima Junior, Lang, Ostermann & Pinheiro, 2015).

O panorama apresentado deixa claro que a aproximação entre Educação em Ciências e Sociologia da Ciência ocorreu não somente no sentido de se promover melhores compreensões sobre a ciência, mas, também, com o intuito de utilizar os

fundamentos, metodologias e resultados da pesquisa sociológica para subsidiar as pesquisas no campo do ensino. Nas próximas seções, nosso interesse manterá o foco apenas na primeira dessas contribuições.

1.4.2. Por que educadores resistiram à inserção da Sociologia da Ciência no ensino (e contra-argumentos)

A menor incorporação de aspectos oriundos da Sociologia da Ciência na Educação em Ciências pode ser atribuída aos embates e controvérsias decorrentes das interpretações dadas por cientistas, filósofos, historiadores e educadores às considerações sociológicas da ciência. A seguinte dicotomia foi estabelecida ao longo século XX e colocou em confronto duas perspectivas diametralmente opostas: o conhecimento científico é independente de forças sociais (visão tradicional); o conhecimento científico é determinado *unicamente* por forças sociais (Hodson, 1985). Essa controvérsia é rica em nuances e o posicionamento frente a elas depende do referencial teórico ou ideológico de quem defende uma posição particular (Zanetic, 1989).

A segunda perspectiva é defendida pelo Programa Forte da Sociologia da Ciência, e criticada por grupos de cientistas, filósofos⁴², historiadores e educadores por destacar que as teorias científicas refletem o meio social mais do que seus aspectos lógicos, racionais e as evidências que as corroboram (Cudmani, 2001; Slezak, 1994a, 1994b). Citando os trabalhos de Latour e Woolgar, o filósofo Slezak (1994b) apontou que, para eles, os aspectos cognitivos e intelectuais não garantem a confiança nas teorias científicas. A escolha de uma teoria em detrimento de outras reflete apenas interesses e relações de poder entre diferentes grupos.

Slezak (1994b) não descartou a influência do meio social no processo de escolha de teorias, mas defendeu o argumento de que compreender todo o conhecimento científico como sendo social em conteúdo, bem como originário dele, seria extremamente reducionista e transmitiria uma visão deturpada sobre a prática

⁴²O físico e filósofo da ciência Mario Bunge (1919-) descreveu o *Programa Forte* como uma “caricatura grotesca da pesquisa científica” (Bunge, 1991 *apud* Slezak, 1994a, p. 267-278), e o também filósofo Larry Laudan (1941-) o interpretou como a “manifestação mais proeminente e pernicioso de anti-intelectualismo de nosso tempo” (Laudan, 1990 *apud* Slezak, 1994a, p. 278).

científica (Bunge, 1991 *apud* Slezak, 1994b). A implicação disso para a ciência e para o conhecimento científico seria equipará-los a qualquer outra prática social.

A abordagem e as conclusões oriundas do Programa Forte da Sociologia da Ciência têm refletido em outros campos. O físico e historiador da ciência Roberto Martins (2002) observa que tem sido dada crescente atenção, em trabalhos da área de História da Ciência, aos aspectos sociológicos e à interpretação de que os cientistas lutam por poder e reconhecimento, deixando totalmente de lado os temas filosóficos e conceituais, os quais seriam, inclusive, proibidos por tal abordagem. Martins (2002) oferece uma possível explicação para essa situação:

Talvez se trate de uma “vingança histórica”. Durante muitas décadas os pesquisadores das áreas de ciências naturais e “exatas” desprezaram a sociologia, considerando que se tratava de uma ciência “inferior” ou uma não-ciência. Agora, os sociólogos procuram mostrar que todas as ciências, incluindo as naturais e “exatas”, não passam de um jogo social, sem nenhum valor intrínseco especial (Martins, 2002, p. 49).

No âmbito da Educação em Ciências, por sua vez, as consequências incluiriam: compreender o ensino como mera socialização de práticas arbitrárias; o ensino não visaria a compreensão, mas a promoção de crenças; e as substâncias produzidas em aulas de laboratório, por exemplo, não teriam uma existência independente, mas seriam socialmente construídas – as verdades seriam legisladas (Cudmani, 2001; Slezak, 1994b).

Se alguns pensadores rechaçam a Sociologia da Ciência como prejudicial à ciência, ao conhecimento científico e à Educação em Ciências, outros filósofos, historiadores e educadores adotam uma posição de conciliação, mesmo reconhecendo que algumas teses sociológicas são problemáticas; outros, ainda, questionam as interpretações produzidas pelos adversários da Sociologia da Ciência.

Allchin (2004b) avalia que os dois polos da disputa estão equivocados em alguma medida. Primeiramente, ele argumenta que uma leitura atenta de *A Vida de Laboratório*, de Latour e Woolgar, bem como de trabalhos etnográficos semelhantes, não resulta, necessariamente, na exclusão de uma perspectiva realista. Tampouco o uso do termo *construção* exclui o papel de alguma forma de materialismo. Nesse sentido, afirmar uma coisa não implica que se está, necessariamente, negando a outra (Lima Junior *et al.*, 2015).

Latour e Woolgar são bem-sucedidos no propósito de descrever detalhadamente o dia-a-dia de um laboratório de pesquisa, e em explicitar que *muito trabalho* deve ser realizado pelos cientistas para que um conhecimento se torne científico. A dicotomia racional vs. social também é criticada por Allchin (2004b) e vista como falsa, pois a ciência não se encontra separada do seu contexto humano. Torna-se necessário “compreender *como e quando* fatores sociais promovem racionalidade, não desaprovar o caráter social da ciência” (Allchin, 2004b, p. 937, *itálicos no original*).

Outra tensão identificada por Allchin (2004b) se refere à *ciência ideal vs. ciência real*, ou entre *considerações normativas* (advindas, principalmente, da Filosofia da Ciência) e *considerações descritivas* (oriundas, principalmente, da Sociologia da Ciência)⁴³. Essas inclinações parecem resultar em uma rivalidade entre os campos. Na opinião de Allchin (2004b), porém, essas considerações se complementam e devem ser incentivadas.

A situação de rivalidade entre os campos acaba por desconsiderar que, na Filosofia da Ciência, embates internos a respeito de perspectivas relativistas para o estatuto da ciência também ocorreram, como em relação aos trabalhos de Feyerabend⁴⁴ e, mesmo, os de Kuhn. Tendo isso em vista, a “aceitação de um enunciado parece ser dependente de *quem* afirma algo sobre ciência; o contexto e a *pessoa que o afirma* podem mudar radicalmente o que o enunciado é suposto implicar” (Zemplén, 2009, p. 536, *itálicos no original*).

Greca e Freire Jr. (2004) adotam uma perspectiva conciliadora, e avaliam que a Sociologia da Ciência e, em termos mais amplos, as tendências pós-modernas, independente de seus vieses filosóficos, têm contribuído para compreender a ciência sob uma perspectiva particular, centrada na análise de sua produção, difusão e influência na sociedade. O que é prioritário para eles é uma análise que não se restrinja apenas aos pressupostos filosóficos, mas que ofereça contribuição para compreender e tornar mais inteligível a ciência no contexto educacional, tendo em vista a formação de cidadãos mais responsáveis. Por outro lado, isso não implica na adoção irrefletida das epistemologias subjacentes, as quais devem passar pelo crivo

⁴³ Isso não significa que a Filosofia da Ciência produza trabalhos apenas de natureza normativa, ou que os trabalhos de Sociologia da Ciência sejam apenas descritivos. Allchin (2004b) esclarece isso citando trabalhos filosóficos descritivos e trabalhos sociológicos normativos.

⁴⁴ Greca e Freire Jr. (2004) descreveram que as ideias de cunho relativista de Feyerabend inspiraram e foram aprofundadas pelos filósofos pós-modernos e pela abordagem sociológica da História da Ciência, em especial, a abordagem baseada no Programa Forte da Sociologia da Ciência.

dos educadores, avaliando seus benefícios e consequências, tais como o estatuto que conferem ao conhecimento científico. Essa orientação é válida para qualquer campo que contribua para a pesquisa e a prática na área de Ensino de Ciências (Greca & Freire Jr., 2004).

Em suma, para se compreender a ciência em termos amplos, é preciso considerar que as dimensões sociais e objetivas da ciência são inseparáveis. Contudo, não se rejeita que cientistas e sociólogos encarem a ciência sob perspectivas diferentes. Para os cientistas, a ciência é compreendida como algo externo à subjetividade do pesquisador, e passível de ser alcançada de acordo com certos critérios metodológicos. Os sociólogos tendem a se afastar dessa justificação científica, e a estimular a desconfiança no sentido de que todos os campos de atividades humanas possuem suas próprias práticas de justificação. Isso não implica, porém, na rejeição da perspectiva dos cientistas (Lima Junior *et al.*, 2015).

1.4.3. Qual abordagem sociológica pode ser levada ao ensino?

A Sociologia da Ciência apresentou diferentes escolas, cada qual com características próprias, ao longo do século XX. Robert Merton (1910 – 2003)⁴⁵, em seu livro de 1973, *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations* [A Sociologia da Ciência: Investigações teóricas e empíricas], reconheceu que, após algumas décadas de gestação, a Sociologia da Ciência havia se consolidado como subárea da Sociologia por meio da identificação de orientações, paradigmas, problemas e ferramentas de investigação próprios, bem como da institucionalização de grupos de pesquisa, do treinamento de sociólogos da ciência e de periódicos voltados total ou parcialmente a ela (Merton, 1973).

Décadas antes de reconhecer a maturidade dessa disciplina, Merton lançou, em 1942, as bases que orientaram as linhas iniciais de pesquisa da Sociologia da Ciência, chamadas de *normas mertonianas* ou *ethos mertoniano*⁴⁶, referentes às normas

⁴⁵Antecedentes da Sociologia da Ciência de Merton são brevemente apresentados por Fonseca (2007). Antes de Merton, autores como Karl Mannheim (1893 – 1947) empreendiam reflexões em torno da Sociologia do Conhecimento, de maneira que sua distinção residiu em incluir a análise das ciências naturais e matemáticas.

⁴⁶Collins (2007) descreve que Merton desejava, por meio da proposição de suas normas, em última instância, justificar os valores da democracia por meio da escolha da ciência como modelo para a sociedade. Essa era uma resposta aos regimes totalitários instaurados na Europa Ocidental na primeira metade do século XX.

sociais e condições políticas sob as quais os cientistas deveriam proceder para a geração do conhecimento científico (Collins, 2007). As normas mertonianas podem ser assim resumidas:

1. *Universalismo*: a validade do conhecimento científico é independente de atributos pessoais, sociais, culturais e nacionais do cientista e deve ser avaliada por critérios cognitivos. Carreiras científicas são abertas aos indivíduos de todas as culturas.
2. *Comunismo*: os produtos do empreendimento científico pertencem à comunidade de cientistas. Esta norma exige comunicação aberta dentro da comunidade científica.
3. *Desinteresse*: cientistas são motivados por um desejo de estender o domínio do conhecimento humano, sem interesse pessoal em conclusões científicas particulares. Auto-engrandecimento e afirmações espúrias são desencorajadas. Esta norma tem sido citada como responsável pela relativa ausência de fraudes na ciência.
4. *Ceticismo organizado*: cientistas têm garantias metodológicas e institucionais para considerar somente fatos estabelecidos empiricamente na tomada de decisões científicas. Esta norma exige dos cientistas suspender julgamentos até que “os fatos estejam à mão” (Kelly *et al.*, 1993, p. 208).

Embora importantes para as pesquisas sociológicas desenvolvidas na época, as linhas de pesquisa baseadas nas normas mertonianas, pouco a pouco, foram sendo criticadas por estudos sociológicos e históricos, destacando-se suas limitações na descrição da prática científica. Elas serviram, muito mais, para manter o estatuto da ciência, sem entrar em questões de cunho epistemológico e de autoridade, encarando as afirmações científicas pelo seu próprio valor (Zemplén, 2009).

No âmbito da Educação em Ciências, as normas de Merton ainda se mantêm como *normas nobres* que supostamente dirigem os cientistas, sem que se questione suas limitações – talvez como consequência de uma autopercepção dos cientistas de que tais normas refletem sua profissão (Weinstein, 2008).

Um ponto de inflexão na Sociologia da Ciência ocorreria com a publicação, em 1962, do livro *A Estrutura das Revoluções Científicas*, de Thomas Kuhn. Sua principal contribuição foi ampliar os modos de pensar sobre o conhecimento científico, dando atenção às condições necessárias ao funcionamento da ciência e a como os cientistas produzem o conhecimento científico no seu dia-a-dia (Collins, 2007; Fonseca, 2007; Zemplén, 2009). Além disso, o trabalho de Kuhn, mesmo sem essa pretensão explícita, pôs em xeque as normas mertonianas, ao destacar que o empreendimento científico era mais dogmático do que pautado em permanente ceticismo; que os

cientistas eram orientados por vieses, de modo a não ser tão abertos quando se recomendava; e que a escolha de paradigmas não se daria apenas por critérios racionais (Weinstein, 2008).

A visão paradigmática de ciência de Kuhn também receberia críticas por parte dos sociólogos da ciência. Por exemplo, a ênfase na colaboração entre cientistas no âmbito da ciência normal, com o objetivo de resolver “quebra-cabeças”, desconsidera que cientistas competem entre si por recursos (Weinstein, 2008).

Na década de 1970, dois programas novos e intimamente relacionados foram concebidos como respostas à sociologia de Merton⁴⁷, na medida em que buscavam questionar as categorias que distinguem o conhecimento científico de outros conhecimentos (Zemplén, 2009). Esses programas são: o *Programa Forte da Sociologia da Ciência*, cujos fundamentos, metodologia e objetivos foram apresentados por David Bloor em seu livro de 1976, *Knowledge and Social Imagery* [Conhecimento e Imaginário Social]; e o *Programa Empírico do Relativismo*, de Harry Collins (Kelly *et al.*, 1993).

Em seu livro, Bloor descreveu as bases do Programa Forte da Sociologia da Ciência, que incluem os princípios da Sociologia do Conhecimento Científico:

1. *Ela seria causal*, ou seja, preocupada com as condições que levam à crença ou a estados de conhecimento. Naturalmente, haverá outros tipos de causas além das sociais, que cooperarão em produzir a crença.
2. *Ela seria imparcial* em relação à verdade e falsidade, racionalidade ou irracionalidade, sucesso ou fracasso. (...)
3. *Ela seria simétrica* em seu estilo de explicação. Os mesmos tipos de causa explicariam, digamos, as crenças verdadeiras e falsas.
4. *Ela seria reflexiva*. Em princípio, seus padrões de explicação teriam de ser aplicáveis à própria sociologia. Tal como a exigência da simetria, esta é uma resposta à necessidade de buscar explicações gerais. É uma exigência óbvia de princípio porque, caso contrário, a sociologia seria uma refutação permanente de suas próprias teorias (Bloor, 1991, p. 7, *itálicos nossos*).

No que diz respeito às especificidades metodológicas do Programa Empírico do Relativismo, de Collins e colaboradores, Meyer e Avery (2010) identificaram três estágios voltados a operacionalizar seus estudos: i) ilustrar a *flexibilidade*

⁴⁷Collins (2007), um dos sociólogos que liderou esse movimento, olhando retrospectivamente para a criação desses programas, notou que os estudos sociológicos da ciência foram uma *criatura do seu tempo*, a saber, uma época em que os países europeus estavam se recuperando economicamente do fim da Segunda Guerra Mundial e sendo palco de uma rebelião crescente contra a austeridade e a autoridade.

interpretativa das observações, isto é, a possibilidade de múltiplas interpretações para os dados empíricos; ii) descrever e explicar os mecanismos envolvidos na *negociação social* que conduz as múltiplas explicações em direção ao seu *encerramento*; e iii) conectar os resultados dos dois primeiros estágios a uma estrutura social mais ampla.

Em seus primeiros anos de desenvolvimento, os dois programas aqui descritos selecionavam suas questões, principalmente, de acordo com a Filosofia da Ciência⁴⁸. Isso se ampliou com o movimento pós-modernista em curso na época, incorporando-se a teoria literária e a semiótica em seu repertório (Collins, 2007).

Ambos os programas se caracterizam por adotarem e seguirem o *princípio da simetria*, isto é, compreender a adesão a qualquer crença científica, seja ela verdadeira ou falsa, do mesmo modo. Além disso, estendendo as análises sociológicas para além da avaliação das influências externas sobre a ciência, ambas incorporam em suas investigações a análise do conhecimento científico em si (Kelly *et al.*, 1993).

Os seguintes temas foram abordados pelos dois programas, sem a pretensão de apresentar aqui uma relação exaustiva: o problema da replicação (o julgamento imparcial dos experimentos é altamente problemático, pois sua replicação nunca pode ser exata; a definição de quais experimentos são mais confiáveis depende de negociações sociais); a reificação social dos fatos (processo social no qual os fatos científicos vão se tornando menos problemáticos); a inadequação da falseabilidade como critério científico, por meio da análise de fatores contextuais; e o problema da “descoberta”, a qual só pode ser interpretada retrospectivamente (ou, diríamos, anacronicamente) e cujo estatuto é determinado socialmente. Em resumo, tais discussões tocam no ponto de que importantes componentes do conhecimento científico são mediados socialmente (Kelly *et al.*, 1993).

Uma linha mais específica de investigação se consolidaria em torno dos *Estudos de Laboratório*, tal como o empreendido por Latour⁴⁹ e Woolgar no livro *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts* [Vida de Laboratório: A Construção Social de Fatos Científicos], de 1986. Essa linha de pesquisa visa compreender como os enunciados científicos evoluem a partir da prática científica, dirigindo o olhar de um

⁴⁸Collins (2007) apontou que os adeptos da Sociologia do Conhecimento Científico se auto-avaliavam como produtores de uma nova Filosofia da Ciência.

⁴⁹Zemplén (2009) descreve que, desde a publicação do livro *Vida de Laboratório*, em 1986, as posições de Latour têm mudado constantemente. Em trabalhos recentes, Latour tem apresentado uma posição inegavelmente positiva em relação às realizações científicas.

sociólogo para as interações sociais dos cientistas. Assim, os trabalhos específicos realizados no dia-a-dia do laboratório, como, por exemplo, o uso de dispositivos envolvidos na produção de fatos científicos e a negociação ao longo do processo, são descritos e analisados. As análises procuram evitar a distinção entre fatores cognitivos e sociais (Kelly *et al.*, 1993).

Figura proeminente nas humanidades, Bourdieu também apresentou contribuições para a sociologia do conhecimento científico e o funcionamento da ciência. Entre elas, inclui-se seu conceito de *arbitrário cultural*, segundo o qual a ciência, bem como todos os sistemas simbólicos, são construções culturais arbitrárias, “pois nenhum deles pode ser deduzido na sua integralidade a partir de quaisquer princípios universais” (Lima Junior *et al.*, 2015, p. 198). A partir disso, torna-se necessário levar em conta que a escolha de teorias científicas não pode ser avaliada apenas em termos da ciência (critérios filosóficos e empíricos) e sua história, pois é preciso considerar também as relações de poder envolvidas na produção e reprodução do conhecimento científico. Para ilustrar a presença constante das relações de poder na vida dos pesquisadores, Lima Junior e colaboradores (2015) mencionam os esforços dos cientistas em publicar suas pesquisas em periódicos com maiores índices de impacto, e sua busca de colaboração com colegas e laboratórios de maior prestígio.

Tendo delineado, ainda que brevemente, alguns aspectos gerais da Sociologia da Ciência, passamos a apresentar como essa área do conhecimento pode subsidiar discussões sobre a ciência no ensino. Algumas sugestões esboçadas a seguir são, ainda, muito embrionárias, e não se pretende aqui lidar com as controvérsias presentes no campo da Sociologia da Ciência.

Uma sistematização da produção em Sociologia da Ciência pode auxiliar na seleção e delimitação dos temas dirigidos ao ensino, e compreender em que nível esses temas podem ser tratados com os estudantes. Cunningham e Helms (1998) dividem a Sociologia da Ciência em dois ramos: a *microsociologia*, interessada em como o conhecimento científico é construído e como as preocupações pessoais e sociais, bem como as crenças subjacentes, influenciam as decisões científicas tomadas no laboratório; e a *macrossociologia*, que dirige sua atenção ao contexto mais amplo da ciência, avaliando as interações entre ciência e sociedade, em especial, a influência de fatores sociais, políticos, culturais, religiosos e econômicos sobre a ciência e, também, como a ciência afeta a sociedade.

Allchin (2004b) considera três divisões: (i) a *microsociologia*, que trata da dinâmica interpessoal de um laboratório, preocupando-se com questões do tipo: Como as atividades dos cientistas produzem conhecimento? Como interpretar o comportamento dos cientistas? Como interpretar os dispositivos utilizados pelos cientistas em suas análises?; (ii) a *macrosociologia*, cujo foco reside nas instituições da ciência e na estrutura social da revisão por pares, dos sistemas de recompensa, financiamento, etc.; e (iii) os *estudos culturais da ciência*, que se preocupam com as relações entre ideologia social e os métodos e ideias científicas. Allchin (2004b) considera que a cultura na qual o cientista se encontra inserido influencia suas ideias e valores, tanto positivamente como negativamente. Por isso, os estudos culturais da ciência se ocupam de questões do tipo: Que temas os cientistas estudam? Quais questões merecem ser respondidas? Quais observações são feitas? Como as evidências são interpretadas? Quais virtudes teóricas são preferidas?⁵⁰.

Propostas que delimitam com maior precisão o que se pretende discutir no contexto do ensino também podem ser encontradas na literatura. Hodson (1985) argumentou em favor do reconhecimento e inclusão, nos currículos escolares, das seguintes fases da prática científica: i) uma primeira etapa criativa individual de geração de hipóteses, influenciada pelo conhecimento aceito pela comunidade científica e pela criatividade do cientista; ii) uma segunda etapa experimental de teste de hipóteses, na qual o cientista utiliza procedimentos aceitos e validados pela comunidade científica; e iii) uma terceira etapa de registro e comunicação, que envolve o processo social de comunicação – utilizando a linguagem e as formas aprovadas pela comunidade científica –, avaliação e aceitação do conhecimento científico.

Cunningham e Helms (1998) sugerem três aspectos inter-relacionados entre si, abordados no nível da microsociologia tal como descrito por elas, que podem ser levados para o ensino com o intuito de promover melhores compreensões sobre as ciências:

⁵⁰O acréscimo feito por Allchin (2004b), apesar de ser entendido por ele como tema de discussão da Sociologia da Ciência, é mais bem descrito no âmbito dos chamados *Estudos Sociais da Ciência*, que congregam estudos antropológicos, sociológicos, culturais e histórico-culturais da ciência (Weinstein, 2008). Ainda que relacionadas, as designações *Sociologia da Ciência*, *Estudos Sociais da Ciência* e *Sociologia do Conhecimento Científico* apresentam suas especificidades, cada qual contemplando fundamentos, metodologias e objetos próprios. Sendo assim, por simplicidade, em muitos momentos nos referimos à Sociologia da Ciência em termos mais amplos, incluindo os dois últimos campos.

- *Rede social*: diferentemente da compreensão popularmente disseminada, de que os cientistas trabalham isoladamente, esses profissionais compõem diferentes comunidades, incluindo desde seu grupo de pesquisa até comunidades mais amplas. Essa rede se estrutura tanto em termos de colaboração e formação de alianças com outros cientistas quanto de competição. A colaboração e a competição influenciam o contato com novas informações, a aprendizagem sobre os últimos desenvolvimentos, a aquisição de recursos, a taxa de produção e a recepção dos trabalhos.

- *Revisão por pares*⁵¹: ainda que projetos possam se iniciar em nível individual, novas ideias só se tornam reconhecidas e aceitas mediante a avaliação de uma comunidade mais ampla. Embora não haja um julgamento definitivo sobre as ideias, a natureza auto-regulatória da comunidade científica permite reavaliá-las quando novos conhecimentos estão disponíveis e conflitam com elas.

- *Ceticismo*: ao longo do processo de revisão por pares espera-se ceticismo dos cientistas no exame das novas ideias, avaliando seus méritos e fraquezas, inconsistências e possíveis vieses. Novos conhecimentos só são incorporados se atingem um consenso na comunidade de cientistas.

Weinstein (2008) adota outra abordagem, e propõe quatro perspectivas sobre a ciência fundamentadas na Sociologia da Ciência: 1) *ciência como investigação*; 2) *ciência como trabalho*; 3) *ciência como empreendimento*; e 4) *ciência como cultura*. Segundo Weinstein (2008), as perspectivas se distinguem pela escala adotada e, em conjunto, promovem uma visão mais autêntica da atividade científica. O quadro a seguir sumariza as quatro perspectivas:

⁵¹Allchin (2004b) inclui, diferentemente de Cunningham e Helms (1998), a revisão por pares na macrossociologia, cujo foco reside, segundo ele, nas instituições da ciência. Assim, podemos estabelecer a possibilidade de uma terceira dimensão entre a micro- e a macrossociologia, pois as definições estritas de cada uma delas, dadas por Cunningham e Helms (1998), parecem não contemplar a rede social e a revisão por pares.

Quadro 1 – Temas de discussão sugeridos a partir da Sociologia da Ciência

Perspectivas sobre a ciência	Termos-chave SC
1. Ciência como investigação: conjunto de práticas empregadas no dia-a-dia do laboratório, nas quais as interações sociais se resumem a um pequeno grupo de cientistas trabalhando no laboratório.	Conversação
	Gramática
	Conhecimento Situado
2. Ciência como trabalho: para além da investigação científica, ciência envolve escrever trabalhos, participar de conferências, criticar outros trabalhos, etc.; interações sociais se ampliam, e ocorre a interação entre diferentes grupos de cientistas.	Rede social
	Retórica
	Paradigma
3. Ciência como empreendimento: âmbito no qual os cientistas adquirem benefícios por seu trabalho, registram patentes e recebem financiamentos.	Benefícios
	Interesse
	Economia política
	Patentes
4. Ciência como cultura: múltiplos empreendimentos da ciência estão incorporados em contextos culturais, políticos e históricos mais amplos; outros grupos sociais respondem aos empreendimentos científicos e interagem com eles, influenciando cientistas e suas agendas.	Contestação
	Movimentos sociais
	Hegemonia

Fonte: Weinstein (2008, p. 396)

Meyer e Avery (2010) selecionaram alguns temas relevantes da Sociologia da Ciência para examinar a prática educacional. Apesar do interesse dos autores não residir na promoção de discussões sobre a ciência, compreendemos que certos temas podem, desde que devidamente adaptados, orientar discussões dessa natureza. Os temas selecionados são:

- *Construção Social*: envolve o movimento dos dados empíricos em direção a fatos estabelecidos. Considera-se que múltiplas interpretações são possíveis e, assim, negociações sociais são empreendidas para encerrar o conflito entre elas.
- *Interação Social*: as ações dos atores sociais mediadas por objetos, bem como os produtos de tais ações, adquirem um significado social próprio.
- *Flexibilidade interpretativa*: diferentes atores ou grupos sociais podem ter diferentes interpretações das evidências, de maneira que o conhecimento deve ser situado para adquirir significado.
- *Caixa-preta*: é uma entidade cuja validade e natureza interna não é questionada, sendo a única preocupação de quem a utiliza introduzir e retirar algo dela. Refere-se ao modo como são utilizados os equipamentos científicos nos laboratórios de pesquisa e ensino, em que apenas o resultado obtido é considerado.

Abrir a caixa-preta é buscar entender como e porquê ela atingiu esse estatuto, e também reconhecer que a ciência opera com conhecimentos e técnicas estabilizados a ponto de não serem questionados.

Meyer e Avery (2010) não vão além de apresentar os temas e suas compreensões oriundas da Sociologia da Ciência, e não tecem considerações mais específicas a respeito de a qual público esses temas seriam mais adequados, muito menos como abordá-los. Zemplén (2009), por sua vez, apresenta os seguintes aspectos a se discutir com estudantes pré-universitários: ciência é uma *instituição social*, composta por *especialistas* relacionados entre si por um *sistema de especialistas* produzindo conhecimentos; como todas as instituições, possui *normas* próprias (epistêmicas e sociais), as quais são importantes para manter o bom funcionamento da ciência, estando sujeitas a mudanças de acordo com o desenvolvimento histórico, mas que podem não ser aplicadas em determinadas situações.

De modo geral, a literatura permanece carente em apresentar critérios sociológicos (Como e por que selecionar um dado conteúdo da sociologia em detrimento de outro?) e educacionais (Quais conteúdos contemplam os objetivos educacionais pretendidos? A qual nível educacional eles são mais adequados?) que auxiliem os professores de ciências em discussões fundamentadas na Sociologia da Ciência. As propostas apresentadas aqui resultam muito mais dos esforços do autor desta tese em buscar, nos artigos encontrados na literatura, alguns temas que pudessem subsidiar discussões no contexto do ensino, do que de intenções explícitas e sistematizadas dos autores dos artigos em oferecer subsídios para o Ensino de Ciências.

1.4.4. Desafios e obstáculos envolvidos em levar a Sociologia da Ciência para a sala de aula

A implementação de abordagens fundamentadas na Sociologia da Ciência no Ensino de Ciências reserva, assim como para as abordagens históricas e filosóficas, uma série de desafios e obstáculos:

- A falta de conhecimentos sobre aspectos da Sociologia da Ciência, e de preparação quanto a como ensiná-los, por parte da maioria dos professores;
- Professores devem reconsiderar não somente os conteúdos que ensinam, mas, também, repensar o seu papel em sala de aula;

- A escassez de materiais didáticos tanto para professores quanto para estudantes;
- Como avaliar a aprendizagem dos estudantes;
- A estrutura tradicional e conservadora da ciência escolar (Cunningham & Helms, 1998).

A formação de professores visando a efetiva implementação de abordagens sociológicas no ensino pode abranger o contato direto com a pesquisa científica e os cientistas, desde que sejam articulados, estudados e discutidos explicitamente os aspectos sociológicos da prática científica. Além disso, a formação de professores para lidar com essa temática deve incluir o desenvolvimento do *conhecimento pedagógico do conteúdo* (como ensinar) e de habilidades necessárias para implementá-la nas salas de aula. Ao longo desse processo, professores devem refletir sobre as razões que requerem a inclusão dessas discussões em suas aulas (Cunningham & Helms, 1998).

O segundo desafio elencado por Cunningham e Helms (1998) pode ser entendido no contexto da tradição da ciência escolar, na qual o professor centraliza de maneira hegemônica o poder e a autoridade em sala de aula. Abrir mão desse estatuto gera desconforto aos professores, que relutam em adotar novas formas de trabalho e novos objetivos para sua prática, como requer a adoção da abordagem sociológica em sala de aula (Cunningham & Helms, 1998).

A respeito dos materiais didáticos, ainda que muitos tenham sido produzidos na perspectiva das abordagens CTS e CTSA, Cunningham e Helms (1998) consideram que eles propõem questões no âmbito da macrosociologia, tendo pouco a dizer a respeito da microsociologia. Assim, além de contemplar as duas dimensões sociológicas, a confecção de materiais didáticos deve incluir explicitamente tais aspectos, ajudar o professor a organizar as atividades, detalhar as compreensões sociológicas pretendidas, fornecer cenários que o professor possa empregar e sugerir questões que orientem as aulas (Cunningham & Helms, 1998).

Recomendações mais precisas a respeito da avaliação estão em aberto, mas não há dúvida de que a valorização das discussões sociológicas por parte dos alunos envolverá a sua avaliação. Se as discussões não forem avaliadas, os estudantes tenderão a atribuir um valor menor a elas.

Além de todas essas dificuldades, se a filosofia dos demais professores da escola conflitar com a do professor que deseja implementar uma abordagem sociológica, os

obstáculos serão ainda maiores. Diante disso, não bastam ações voltadas aos indivíduos: elas devem ser acompanhadas por ações voltadas às instituições (Cunningham & Helms, 1998). Ademais, conforme discutido em seções anteriores, as críticas à Sociologia da Ciência, e em especial ao Programa Forte da Sociologia da Ciência, encarados como prejudiciais à Educação em Ciências, também constituem obstáculos a sua inserção no ensino.

A superação dessa situação passaria por apresentar aos educadores as questões que estão em jogo no debate sociológico (por exemplo, a posição de autoridade da ciência), e como as posições extremas não esgotam todas as alternativas possíveis. Por exemplo, as perspectivas a respeito das fundações empíricas e da confiabilidade do conhecimento científico ainda variam substancialmente. Faz-se necessário, também, direcionar aos educadores discussões sobre a natureza normativa e descritiva das questões metacientíficas (Allchin, 2004b). Para cada temática da Sociologia da Ciência que for considerada, um conjunto diferente de instruções é necessário para ilustrar e discutir o que for relevante para o ensino (Collins, 2007).

1.4.5. Algumas recomendações e estratégias de como abordar a Sociologia da Ciência no ensino

Compreensões sobre aspectos da microsociologia, em especial o reconhecimento da estrutura e do papel da rede social e da revisão por pares na criação e legitimação dos conhecimentos científicos, assim como a importância da comunidade ao longo desse processo, podem ser promovidas por atividades em classe e aulas de laboratório que engajem os estudantes em situações análogas às vivenciadas pelos cientistas (Cunningham & Helms, 1998).

Em tais contextos, o alcance de compreensões mais sofisticadas dos aspectos mencionados envolve a interação efetiva entre os estudantes, por exemplo, por meio da realização de atividades em grupo, pelo incentivo ao compartilhamento de informações e resultados experimentais no grupo e entre os grupos, e pelo incentivo à avaliação dos dados de outros estudantes e grupos. Neste último caso, faz-se necessária a construção, mediada pelo professor, de padrões e critérios para a avaliação das ideias apresentadas pelos diferentes estudantes ou grupos, de maneira que todos tenham ciência do que é importante analisar, quais variáveis merecem maior atenção, etc. No decorrer de tais atividades, o professor deve fazer

comparações explícitas entre o que os estudantes fazem e o que cientistas fazem, destacando semelhanças e diferenças, bem como quais aspectos sociológicos estão sendo ilustrados.

O papel do professor como autoridade máxima em sala de aula, acompanhado do livro didático, não reflete a diversidade de referências adotadas pela comunidade científica para legitimar os conhecimentos científicos. Nesse sentido, existe a necessidade de se ampliar o quadro de referências de autoridades no contexto da sala de aula, incluindo referências oriundas dos próprios estudantes e de outros recursos de informação científica. A ampliação de autoridades leva, por sua vez, à diminuição da autoridade do próprio professor, não mais encarado como a única fonte de conhecimentos e a única voz para julgar as respostas dos estudantes. Em vista disso, seu papel mais importante será o de sugerir novos caminhos, incentivar os estudantes a exporem suas ideias e avaliá-las entre si, e questioná-los se estão convencidos das conclusões alcançadas com os dados e resultados obtidos (Cunningham & Helms, 1998).

Entendemos a relevância dessa resignificação do papel do professor, e consideramos importante que ele seja capaz de manter um equilíbrio entre as deliberações sociais e as garantias empíricas envolvidas nas discussões de resultados experimentais. Se criticamos a atual ênfase excessiva em perspectivas empírico-indutivistas, tampouco podemos inverter a ênfase na direção das deliberações sociais, a ponto de considerar que apenas elas exercem papel nas decisões da comunidade científica. Em suma:

Reconhecer o papel do consenso social em ciência não significa que a decisão dos estudantes sobre o ponto de ebulição deva ser determinada por votação, sem ninguém olhando para a água ou o termômetro. Equilibrar deliberação e garantia empírica exige, acreditamos, a discussão cuidadosa e extensa sobre o que ocorre no laboratório e o que cada resultado significa para os participantes (Kelly *et al.*, 1993, p. 215).

As discussões pautadas na Sociologia da Ciência com o intuito de promover melhores compreensões sobre a ciência não devem adotar uma perspectiva normativa. Por exemplo, certas descrições de casos apontando a influência de fatores econômicos e políticos no que se pretende pesquisar não devem ser interpretadas no sentido de que a ciência sempre sofre essas influências.

A discussão das dimensões normativas e descritivas sobre a ciência pode ser promovida a partir de estudos de caso históricos que contemplem uma compreensão a respeito do funcionamento da ciência, destacando aspectos que revelam que a ciência não funcionou “idealmente” (isto é, guiada apenas por fatores racionais internos à ciência), bem como por que isso ocorreu (Allchin, 2004b).

Nesse sentido, concordamos que, desde que em consonância com os objetivos pretendidos e não se limitando somente a esses aspectos sobre a ciência, estudos de caso oriundos da história social da ciência, que não contemplem as ideias sobre o mundo natural⁵², também podem ter valor para a compreensão da ciência. Esses casos podem destacar que o conhecimento científico é fruto de uma época, sociedade e contexto; podem delinear as complexas relações entre ciência e tecnologia, o mercado e o desenvolvimento militar; e podem mostrar as consequências indesejadas oriundas do desenvolvimento da ciência, bem como sua responsabilidade frente à sociedade (Greca & Freire Jr., 2004).

Considerando o exposto, argumenta-se em favor de uma nova postura em relação à Sociologia da Ciência por parte dos pesquisadores da Educação em Ciências. As contribuições da Sociologia da Ciência não podem ser vistas como marginais diante dos aportes da História da Ciência e da Filosofia da Ciência. Cada metaciência tem um enfoque próprio e, por consequência, resulta em considerações diferentes. Porém, quando reunidas e articuladas entre si, permitem cobrir diferentes instâncias da ciência, da atividade científica e dos cientistas. Assim, contribuem para representar e comunicar uma visão multifacetada do empreendimento científico.

Um dos objetivos deste capítulo foi apresentar, ainda que breve e parcialmente, um histórico da aproximação entre os campos da História da Ciência, Filosofia da Ciência e Sociologia da Ciência e o campo da Educação em Ciências. Cada um deles antecede a elaboração do constructo *Natureza da Ciência*, que tem sido bastante discutido no contexto da promoção de melhores compreensões sobre a ciência. A riqueza de perspectivas produzidas pelas História da Ciência, Filosofia da Ciência e Sociologia da Ciência não pode ser negligenciada, pois são esses campos que

⁵²Temos em vista aqui a afirmação do filósofo Larry Laudan, de que os trabalhos da história social discutem *tudo* sobre cientistas, exceto suas ideias sobre o mundo natural (Greca & Freire Jr., 2004). Isso certamente é um problema para os que têm como objetivo principal ou exclusivo a análise das ideias dos cientistas. No entanto, como temos argumentado em diferentes momentos, tal perspectiva não necessariamente deve ser assumida pela Educação em Ciências, que possui fundamentos, objetivos, metodologias e demandas diferentes em relação à Filosofia da Ciência.

possibilitam a fundamentação e orientação da Natureza da Ciência. Em vista disso, o próximo capítulo discute a pesquisa sobre a Natureza da Ciência produzida ao longo das últimas décadas no âmbito da Educação em Ciências.

CAPÍTULO 2 – A NATUREZA DA CIÊNCIA NA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

2.1. O que é Natureza da Ciência?

A expressão *Natureza da Ciência* é bem conhecida dos pesquisadores da área de Educação em Ciências, em especial daqueles que se dedicam à investigação nas interfaces com História, Filosofia e Sociologia da Ciência – embora possa haver divergências quanto a seu significado. Entre professores do Ensino Básico, estudantes do Ensino Superior, e mesmo pesquisadores em Educação em Ciências com pouca familiaridade com essas interfaces, pode haver estranhamento diante daquela expressão: “O que você está entendendo por ‘*natureza*’ da ciência? É a mesma coisa que ‘História e Filosofia da Ciência?’” (Martins, 2015, p. 710).

As dificuldades se acentuam quando se constata, na literatura nacional e internacional, o uso de termos análogos a *Natureza da Ciência*, como, por exemplo, *saber sobre ciência* ou *ideias sobre a ciência, como a ciência funciona, epistemologia da ciência*, etc. Eles podem, inclusive, ser utilizados em trabalhos que utilizam também o termo *Natureza da Ciência*. Diante disso, consideramos importante apresentar um panorama do que se entende por *Natureza da Ciência*, e também explicitar qual o nosso entendimento a esse respeito. Isso se justifica pelo fato de que uma parcela das controvérsias em torno do ensino da *Natureza da Ciência* reside na atribuição do significado a essa expressão, que depende “da origem, da experiência, da posição profissional e dos pressupostos (ontológicos, epistemológicos etc.) de quem fala” (Martins, 2015, p. 710). Não haveria, assim, uma *única* definição para esse termo. Além disso, cada compreensão a respeito do significado da *Natureza da Ciência* direciona o discurso, a pesquisa e o desenvolvimento relacionados a ela (Abd-El-Khalick, 2012b).

O educador em ciências estadunidense Norman Lederman, um dos principais defensores do que ficou conhecido como *visão consensual* ou *abordagem consensual* sobre a *Natureza da Ciência*, a definiu do seguinte modo: “epistemologia da ciência, ciência como um modo de conhecer, ou os valores e crenças inerentes ao conhecimento científico e seu desenvolvimento” (Lederman, 2007, p. 833). Essa definição foi enunciada por ele há mais de vinte anos (Lederman, 1992).

O também educador estadunidense McComas, em colaboração com outros pesquisadores, apresentou a seguinte concepção de Natureza da Ciência:

[...] uma fértil e híbrida arena que mistura aspectos de vários estudos sociais da ciência, incluindo história, sociologia e filosofia da ciência, combinados com pesquisas oriundas das ciências cognitivas, tais como a psicologia, em uma rica descrição do que é a ciência, de como ela funciona, de como os cientistas atuam como grupo social e de como a própria sociedade tanto orienta quanto reage aos esforços científicos (McComas, Clough, & Almazroa, 1998b, p. 4).

O educador espanhol Vázquez-Alonso, em colaboração com outros pesquisadores espanhóis, enunciou uma descrição mais ampla do que eles entendem por Natureza da Ciência:

[...] engloba uma diversidade de aspectos sobre o que é a ciência, seu funcionamento interno e externo, como ela constrói e desenvolve o conhecimento que produz, os métodos que usa para validar este conhecimento, os valores envolvidos nas atividades científicas, a natureza da comunidade científica, os vínculos com a tecnologia, as relações da sociedade com o sistema tecnocientífico e vice-versa, as contribuições desta à cultura e ao progresso da sociedade (Vázquez-Alonso, Manassero-Mas, Acevedo-Díaz, & Acevedo-Romero, 2007).

Podemos ainda identificar o uso, por outros autores, de uma dessas definições como base, seguida por sua ampliação, como fizeram as educadoras brasileiras Vital e Guerra (2014):

Definida por Lederman (1992) como um conjunto de saberes sobre o conhecimento científico, o conceito de NdC [Natureza da Ciência] inclui os contextos de produção da ciência, os métodos utilizados, as ligações entre ciência e tecnologia, as crenças e os valores envolvidos, o papel dos cientistas, as relações da ciência com a sociedade, a compreensão pública da ciência, bem como a história, sociologia e filosofia da ciência abrangendo suas dimensões sociais, econômicas, morais e culturais (Vital & Guerra, 2014, p. 228).

Como um último exemplo de resposta à questão “O que é Natureza da Ciência?”, o educador brasileiro Moura (2014) apresenta, em diferentes momentos, duas possíveis respostas:

[...] envolve um arcabouço de saberes sobre as bases epistemológicas, filosóficas, históricas e culturais da Ciência. Compreender a natureza da

Ciência significa saber do que ela é feita, como elaborá-la, o que e por que ela influencia e é influenciada (Moura, 2014, p. 33).

Estudar a natureza da Ciência significa compreender como o homem constrói o conhecimento científico em cada contexto e em cada época, tendo como base suas concepções filosóficas, ideológicas e metodológicas (Moura, 2014, p. 37).

As compreensões a respeito da Natureza da Ciência permitem vislumbrar que elas, em maior ou menor grau, se distinguem não só por uma variação na forma de expressá-la, mas, também, no que diz respeito a sua abrangência, ou seja, seu conteúdo. Tais diferenças nos motivam a delinear o que orienta a sua construção.

Primeiramente, a Natureza da Ciência é *concebida por educadores* a partir de discussões sobre ciência realizadas nas áreas de História, Filosofia e Sociologia da Ciência⁵³. São feitas seleções de conteúdos dessas áreas, seguidas por sua adequação, isto é, os conteúdos passam por genuínas transposições didáticas, levando em consideração teorias de ensino-aprendizagem, o público ao qual o ensino é dirigido, os objetivos educacionais e as pesquisas empíricas da Educação em Ciências – o que confere à Natureza da Ciência significados próprios no âmbito da Educação em Ciências. Além de fonte de conteúdos, a História, a Filosofia e a Sociologia da Ciência fornecem também contextos com valor pedagógico para se discutir a Natureza da Ciência (Almeida & Farias, 2011; Matthews, 1998; Moura, 2014; Rodríguez & Aduríz-Bravo, 2013).

Em segundo lugar, História, a Filosofia e a Sociologia da Ciência são considerados campos de estudo *metacientíficos*, isto é, visam refletir sobre o que é a ciência e como ela funciona, sob pontos de vista externos à ciência, propondo explicações de natureza provisória. Em cada um desses campos existe uma pluralidade de perspectivas, algumas complementares entre si, outras em disputa, em permanente discussão e avaliação de suas forças e fraquezas. Quando selecionadas, adequadas e transpostas por educadores ao ensino, cada perspectiva oferecida por essas disciplinas ainda conserva o objetivo de refletir sobre a ciência, complementando o

⁵³McComas e Olson (1998) incluem, além dos três campos mencionados, a Psicologia da Ciência como um campo que também contribui para o constructo *Natureza da Ciência*. No entanto, como esse é um campo recente em relação ao anteriores (Martins, 2002), suas contribuições específicas para se compreender a ciência ainda são pouco conhecidas pelos educadores, e não serão discutidas aqui. No capítulo anterior, vimos que os campos da História, Filosofia e Sociologia da Ciência tangenciaram discussões em nível psicológico ao tratar, por exemplo, dos aspectos cognitivos mobilizados pelos cientistas, e como se manifestam aspectos éticos nos cientistas. Algumas linhas da Sociologia da Ciência têm reconhecido e incentivado essa sinergia entre aspectos psicológicos e sociológicos em suas análises.

ensino de ciência (que é caracterizado pelos conteúdos científicos, ou resultados da ciência).

Em terceiro lugar, assim como nos campos metacientíficos, as compreensões sobre a Natureza da Ciência na Educação em Ciências se alteram ao longo do tempo, o que faz com que ela deva ser interpretada como um constructo multifacetado, hipotético e temporário⁵⁴:

Uma revisão da literatura especializada sobre a NOS [*sigla em inglês para Nature of Science, isto é, Natureza da Ciência*] necessita ser realizada e 'lida' a partir de um ponto de vista que, assim como o conhecimento científico, as concepções sobre a NOS são necessariamente provisórias e históricas. Em outras palavras, devemos estar cientes de que concepções de NOS adotadas atualmente por professores de ciências e organizações do ensino de ciências não são 'inerentemente melhores' do que, por exemplo, aquelas enfatizadas durante os anos 1960. Foi somente com a vantagem da visão retrospectiva que tais comparações normativas puderam ser feitas (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, p. 668).

Em quarto lugar, distintas compreensões e formulações sobre a Natureza da Ciência são possíveis em uma mesma época, devido a diferenças de fatores como: formação dos educadores que as concebem; suas orientações ideológicas, filosóficas e epistemológicas; compreensão que eles possuem a respeito dos objetivos educacionais e sua relação com qual Natureza da Ciência permite alcançá-los; conhecimentos prévios a respeito de cada uma das metaciências e a visão de ciência que almejam transmitir por meio delas. Em suma, dependem do viés do educador e do contexto (científico, filosófico, histórico e educacional) no qual ele se encontra.

Finalmente, o constructo Natureza da Ciência possui estatuto de metaconhecimento a respeito da ciência, ou seja, é um conhecimento sobre ciência. Esse estatuto foi gradativamente sendo reconhecido na Educação em Ciências devido

⁵⁴Na primeira metade do século XX, prevaleceu a concepção de Natureza da Ciência como se referindo ao entendimento do método científico; na década de 1960, a ênfase foi direcionada aos processos da ciência e às habilidades de investigação (observar, propor hipóteses, inferir, interpretar resultados e elaborar experimentos); na década de 1970, o foco deslocou-se consideravelmente, priorizando a natureza provisória do conhecimento científico (sujeito a mudança), seu caráter público (compartilhado), reproduzível, probabilístico (previsões baseadas no conhecimento científico não são absolutas), humanístico (reflete a tentativa humana de impor ordem sobre a Natureza), único (com suas próprias normas, regras e valores), histórico (o conhecimento do passado deve ser julgado em seu contexto histórico), holístico (internamente consistente) e empírico (baseado em, ou derivado de, observações do mundo natural); por fim, na década de 1980, foram acrescentados aos tópicos anteriores a compreensão de que as observações são carregadas de teorias, o papel da criatividade humana na proposição de explicações, a estrutura social das organizações científicas e o papel dos discursos sociais na validação do conhecimento científico (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000).

à limitação em se identificar a Natureza da Ciência como sendo a própria Investigação Científica – maneira pela qual o conhecimento científico é produzido –, sugerindo a ela um estatuto de habilidade: fazer ou viver ciência levaria à sua compreensão. Diferente disso, Natureza da Ciência é um conhecimento concebido a partir de um esforço explícito e reflexivo a respeito da ciência e sua prática (Abd-El-Khalick, 2012b; Allchin, 2012; Lederman, 2006; Lederman, Bartos, & Lederman, 2014; Vázquez-Alonso, Manassero-Mas, Acevedo-Díaz, & Acevedo-Romero, 2008).

A seguir, discutiremos a razão pela qual o constructo Natureza da Ciência adquiriu tamanha importância para a Educação em Ciências, a ponto de ser considerado crucial para a formação de cidadãos (Hodson, 2014). Outros aspectos, apenas tangenciados nesta seção, serão retomados mais adiante e em maior profundidade, como, por exemplo, o conteúdo da Natureza da Ciência.

2.2. A importância da Natureza da Ciência

Inúmeros trabalhos da área de Educação em Ciências têm identificado compreensões pouco elaboradas⁵⁵ sobre a ciência entre estudantes e professores de ciências, tanto no nível básico quanto universitário (Griffiths & Barry, 1991; Lederman, 1992, 2007; Lederman, Wade, & Bell, 1998; Praia & Cachapuz, 1994; Vázquez-Alonso & Manassero-Mas, 1999). No Brasil, pesquisas dessa natureza também têm sido feitas (Gurgel & Mariano, 2009; Lopes, Krüger, Del Pino, & Souza, 2007; Oleques, Boer, & Bartholomei-Santos, 2013; Scheid, Ferrari, & Delizoicov, 2007; Tobaldini, Castro, Justina, & Meghioratti, 2011).

O educador espanhol Daniel Gil-Pérez (1993) listou as seguintes visões veiculadas no âmbito do Ensino de Ciências, de maneira explícita ou implícita, a respeito do trabalho científico⁵⁶:

⁵⁵A literatura apresenta diferentes denominações para essas compreensões, tais como: *visões deformadas*, *visões ingênuas*, *compreensões equivocadas*, *mitos*, etc., as quais se caracterizam pela valoração negativa das compreensões dos sujeitos investigados. Nesta tese, buscamos utilizar uma denominação diferente, que não dê, em nossa visão, a mesma valoração negativa.

⁵⁶Gil-Pérez e Vilches (2005) utilizam tais compreensões não só para justificar a importância do ensino sobre a Natureza da Ciência, mas também para compor uma abordagem consensual positiva e negativa, isto é, uma abordagem que inclui os consensos das metaciências e as concepções consideradas por eles inadequadas de estudantes e professores, descritas na literatura. Segundo Gil-Pérez e Vilches (2005), se não podemos dizer com certeza o que é a ciência e como ela funciona, podemos dizer com maior grau de fundamentação o que *não é* a ciência e como ela *não* funciona. Por consequência, a finalidade do ensino da Natureza da Ciência é superar as visões pouco elaboradas,

1. *Visão empirista e ateórica*: observação e experimentação na ciência são desprovidas de orientações teóricas *a priori*;
2. *Visão rígida (algorítmica, exata e infalível)*: o conhecimento científico é obtido pela aplicação passo-a-passo do método científico, de natureza infalível;
3. *Visão não problematizada e não histórica*: o conhecimento científico é transmitido como um corpo de conhecimentos pronto (sem um problema que o origina, desprovido de desenvolvimento histórico, de dificuldades e de limitações);
4. *Visão exclusivamente analítica*: ênfase unicamente na especialização das investigações da Natureza (omissão de esforços para a unificação e construção de conhecimentos mais amplos);
5. *Visão acumulativa e linear*: o desenvolvimento científico se dá unicamente pela acumulação de conhecimentos e seguindo uma trajetória definida rumo à verdade;
6. *Visão de senso comum*: conhecimentos científicos são apresentados como claros e óbvios, ou seja, não poderiam ser entendidos de outra maneira;
7. *Visão elitista e individualista*: os conhecimentos científicos são produzidos por gênios isolados e independentes - quase sempre, homens;
8. *Visão descontextualizada e socialmente neutra*: a ciência é vista como uma atividade socialmente neutra, isto é, sua prática não é influenciada por fatores sociais, econômicos, religiosos, etc.

A partir de um contexto e um viés diferentes, McComas (1998) identificou quinze compreensões, consideradas inadequadas, comumente presentes em livros didáticos, discursos de salas de aula e entre adultos estadunidenses:

1. *Hipóteses tornam-se teorias, que, por sua vez, tornam-se leis*;
2. *Leis científicas e outras ideias são absolutas*;
3. *Uma hipótese é um mero palpite*;
4. *Um método científico geral e universal existe*;
5. *Evidência acumulada cuidadosamente resultará, necessariamente, em conhecimento seguro*;
6. *Ciência e seus métodos fornecem uma prova absoluta*;
7. *Ciência é mais a aplicação de procedimentos do que criação*;
8. *Ciência e seus métodos podem responder a todas as questões*;
9. *Cientistas são sempre objetivos*;

mais do que atingir visões consensuais selecionadas das metaciências. Essa abordagem ressoa em outros autores, como, por exemplo, Vázquez-Alonso e Manassero-Mas (2012).

10. *Experimentos são a rota principal para o conhecimento científico;*
11. *Conclusões científicas são revisadas com precisão;*
12. *A aceitação de um novo conhecimento científico é imediata;*
13. *Os modelos da ciência são a própria realidade;*
14. *Ciência e tecnologia são idênticas;*
15. *Ciência é uma busca solitária e individual.*

Não se pretende aqui esgotar a diversidade de compreensões pouco elaboradas sobre a ciência, mas destacar que elas têm sido identificadas em diferentes níveis de ensino, públicos, épocas e países, por meio de diferentes metodologias de pesquisa, permitindo concluir que essas concepções formam uma poderosa rede autossustentável, que é transmitida de geração a geração (Clough & Olson, 2012). A produção de pesquisas sobre essas concepções de ciência levou educadores, cientistas, filósofos, historiadores e sociólogos, ao longo da segunda metade do século XX, a reconhecerem que elas se distanciavam bastante das compreensões sobre ciência discutidas pelas metaciências (Matthews, 2012).

Compreensões como as indicadas acima foram atribuídas, dentre outros motivos, à suposição de que o ensino e aprendizado de conteúdos científicos, entendidos como os resultados ou produtos da pesquisa científica (teorias, leis, modelos e conceitos), seria condição necessária e suficiente para se entender o que é a ciência e como ela funciona, sem a necessidade de discussões explícitas sobre a natureza da ciência nas salas de aula (Lederman, 2007; Matthews, 1994).

No entanto, há que se frisar que, mesmo quando professores de ciências ensinam apenas os conteúdos científicos, também são transmitidos, implicitamente, ideias sobre o conhecimento científico e o trabalho científico (Driver, Leach, Millar, & Scott, 1996)⁵⁷. As consequências disso são a adoção inconsciente e não problematizada de compreensões sobre a Natureza da Ciência pelos estudantes, quase sempre em desacordo com as compreensões sobre ciência oriundas das metaciências e consideradas adequadas pelos pesquisadores da Educação em Ciências.

⁵⁷Embora muitos autores, como os citados aqui, defendam essa posição, as pesquisas empíricas ainda são inconclusivas em relação às concepções dos professores influenciarem as concepções dos estudantes, e também a respeito de as concepções dos professores exercerem um papel importante no seu comportamento docente e no ambiente de sala de aula (Carvalho, 2001; Harres, 1999; Lederman *et al.*, 1998). O que as pesquisas têm apontado é a complexidade do desenvolvimento das concepções sobre ciência no processo de ensino-aprendizagem.

Pesquisadores têm defendido que o desenvolvimento de melhores compreensões sobre a ciência é um objetivo educacional bem estabelecido, a ser alcançado pelos estudantes. A origem do consenso a esse respeito remonta ao início da segunda metade do século XX (Acevedo-Díaz *et al.*, 2005; Bell, 2006; Carvalho, 2001; Driver *et al.*, 1996; Hodson, 2014; Lederman, 1992, 2007; Lederman *et al.*, 2014; McComas *et al.*, 1998b; Porto, 2010; Vital & Guerra, 2014).

A importância atribuída à Natureza da Ciência se justificaria, de acordo com Driver e colaboradores (1996), por seu papel em processos como: dar sentido à ciência e aos objetos e processos tecnológicos utilizados no dia-a-dia; informar sobre questões sociocientíficas com o intuito de tomar decisões críticas; apreciar o valor da ciência como parte da cultura contemporânea; desenvolver uma compreensão dos padrões e normas da comunidade científica, que incorporam valores morais relacionados a valores gerais da sociedade; e facilitar o aprendizado dos conteúdos científicos.

Mais recentemente, Hodson (2014) compilou e organizou os seguintes argumentos a respeito da inclusão da Natureza da Ciência no ensino:

- *Benefícios para a ciência*: fomentar as carreiras relacionadas à ciência através da compreensão dos cidadãos sobre o que os cientistas fazem e como eles fazem, melhorando, assim, a imagem pública da ciência. A confiança na ciência e o sentimento de segurança despertado por ela dependem dessa compreensão;
- *Benefícios individuais*: i) ter acesso a uma ampla faixa de oportunidades de emprego e estar bem posicionado para responder positiva e competentemente à introdução de novas tecnologias no trabalho; ii) ter condições para avaliar e responder adequadamente a argumentos e evidências científicas, bem como estar preparado para tomar decisões que afetam a saúde, segurança e bem-estar econômico;
- *Benefícios para a sociedade como um todo*: i) *argumento econômico* – o conhecimento científico constrói, sustenta e desenvolve o bem-estar econômico de uma nação; ii) promove a democracia e a cidadania responsável, pois a primeira só se manifesta plenamente quando *todos* os cidadãos estão preparados para confrontarem e avaliarem com conhecimento as controvérsias científicas em seus aspectos racionais e emocionais, tendo em vista preocupações públicas e pessoais.

As razões citadas por Driver e colaboradores (1996) e Hodson (2014) ilustram uma parcela dos argumentos favoráveis à inserção da Natureza da Ciência no ensino, ainda que não abarquem toda a multiplicidade de motivos elencados nas últimas décadas. É importante esclarecer que a maioria dos trabalhos que trazem esses

argumentos incluem pouco amparo empírico⁵⁸ (Acevedo-Díaz *et al.*, 2005; Lederman, 2007), fruto da escassa implementação e avaliação de discussões sobre a Natureza da Ciência em sala de aula. No contexto brasileiro, Teixeira, Greca e Freire Jr. (2012) identificaram 160 trabalhos relacionados à História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências, publicados nos principais periódicos nacionais e um espanhol, entre 1980 e 2011. Desse total, apenas 14 se referiam a intervenções didáticas no âmbito do Ensino de Física⁵⁹ e, dentro desse grupo, somente sete trabalhos buscavam investigar os efeitos da intervenção realizada, em sua maioria no âmbito do Ensino Superior, na promoção de melhores compreensões sobre a Natureza da Ciência entre os estudantes.

Diante disso, a escassez de resultados de pesquisa não permite sustentar empiricamente, de maneira ampla e profunda, as razões apontadas para a inclusão da Natureza da Ciência no ensino – pois poucos são os trabalhos que concretizam um “modo de conhecer se ou como a Natureza da Ciência contribui para o desenvolvimento de uma população letrada cientificamente” (Lederman *et al.*, 2014, p. 972). Ainda assim, a coletânea de razões constitui uma ampla base para integrar as discussões sobre a Natureza da Ciência no Ensino de Ciências (McComas, 2013).

A demanda por essa integração já se reflete há algumas décadas, ainda que com diferentes ênfases e extensão, em documentos curriculares oficiais de diferentes países, como EUA, Austrália, Inglaterra, País de Gales, Nova Zelândia e Canadá (McComas, 2014; McComas & Olson, 1998). Nos EUA, em particular, observa-se que esse objetivo é indicado em documentos oficiais há pelo menos cem anos. Por outro lado, pesquisas educacionais avaliando os êxitos desse objetivo nos EUA tiveram início há pelo menos cinquenta anos (Lederman, 2007).

Nos documentos oficiais brasileiros direcionados à Educação Básica, particularmente os *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio* (PCNEM), de 1999, amparado pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), de

⁵⁸Por exemplo, Acevedo-Díaz e colaboradores (2005) apontam que ainda carece de investigação a alegação de que compreensões elaboradas sobre a Natureza da Ciência são centrais para a tomada de melhores decisões em questões sociocientíficas.

⁵⁹Oliveira e Silva (2011, 2013) encontraram resultados semelhantes nos trabalhos completos publicados de 2000 a 2009 no *Simpósio Nacional de Ensino de Física* (SNEF) e no *Encontro de Pesquisa em Ensino de Física* (EPEF) – eventos bianuais. Entre os 125 trabalhos publicados no âmbito desses congressos, na linha de pesquisa História, Filosofia e Sociologia e Ensino de Física, 26 indicaram em seus resumos a realização de intervenções orientada pela História e Filosofia da Ciência. Destes, apenas 10 objetivavam promover melhores compreensões sobre a Natureza da Ciência. Também é preocupante constatar que, ao longo dos anos analisados, não houve qualquer evolução significativa no número de trabalhos dessa natureza.

1996, e nas *Diretrizes Curriculares Nacionais* para o Ensino Médio, de 1998, constata-se a existência, na área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, orientações que prezam por uma visão mais crítica do empreendimento científico. Por exemplo, na citação abaixo, extraída das competências e habilidades a serem desenvolvidas pelos estudantes, nota-se a indicação da importância de aspectos sociais e históricos da ciência com o intuito de proporcionar melhor entendimento da sua natureza:

- Reconhecer o sentido histórico da ciência e da tecnologia, percebendo seu papel na vida humana em diferentes épocas e na capacidade humana de transformar o meio.
- Compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolveram por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade (Brasil, 1999, p. 217).

As considerações acima, direcionadas de modo geral para a área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, também se refletem nesses documentos quando se referem ao caso específico da disciplina de Química, como podemos observar abaixo:

[...] o conhecimento químico não deve ser entendido como um conjunto de conhecimentos isolados, prontos e acabados, mas sim uma construção da mente humana, em contínua mudança. A História da Química, como parte do conhecimento socialmente produzido, deve permear o ensino de Química, possibilitando ao aluno a compreensão do processo de elaboração desse conhecimento, com seus avanços, erros e conflitos. [...] Não se pode simplesmente aceitar a ciência como pronta e acabada e os conceitos atualmente aceitos pelos cientistas e ensinados nas escolas como “verdades absolutas”. [...] Tampouco deve o aluno ficar com a impressão de que existe uma “ciência” acima do bem e do mal, que o cientista tenta descobrir. A ciência deve ser percebida como uma criação do intelecto humano e, como qualquer atividade humana, também submetida a avaliações de natureza ética (Brasil, 1999, p. 240–241).

Em documentos curriculares oficiais posteriores, como as *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio* (PCN+), de 2002, e as *Orientações Curriculares para o Ensino Médio*, de 2006, são preservadas considerações semelhantes, em particular no que diz respeito à Química. Em linhas gerais, os documentos supracitados apontam para a necessidade

de uma visão crítica sobre a ciência, destacando tanto aspectos que devem ser ressaltados quanto os que devem ser evitados em relação à Natureza da Ciência.

Mais recentemente, um novo documento oficial começou a figurar na política educacional brasileira, a *Base Nacional Comum Curricular* (BNCC). A *Base* tem sido construída nos últimos anos por especialistas e recebeu contribuições da sociedade civil, organizações e entidades científicas, por meio de consulta pública. A *Base* é um documento de caráter normativo que visa estabelecer os direitos e objetivos de aprendizagem e desenvolvimento para os alunos da educação básica no Brasil. Ela estabelece os conhecimentos e competências que se espera que todos os estudantes adquiram e desenvolvam ao longo da educação básica. Em vista disso, a *Base* pretende orientar a concepção de currículos e estabelecer os conteúdos mínimos, de modo a assegurar uma formação comum para os estudantes da educação básica. Atualmente, uma versão referente ao Ensino Infantil e Ensino Fundamental encontra-se concluída⁶⁰, e está sendo avaliada pelo Conselho Nacional de Educação (CNE), para posterior encaminhamento e homologação pelo Ministério da Educação (MEC) (Brasil, 2017).

Na *Base Nacional Comum Curricular* relativa ao Ensino Fundamental, destaca-se como competência específica das ciências da Natureza, assim como feito em documentos oficiais anteriores, a necessidade de se “compreender as ciências como empreendimento humano, reconhecendo que o conhecimento científico é provisório, cultural e histórico” (Brasil, 2017, p. 276). Em versão preliminar da *Base*, que apresentava detalhes sobre o Ensino Médio e, em especial, sobre a disciplina de Química, observa-se consonância com a competência anterior ao reconhecer a importância de

[...] conhecer como a Química foi se consolidando como ciência, com seus métodos, modelos e teorias. Isso permite a compreensão da dinâmica da geração do conhecimento, com seus avanços, disputas e erros, e a influência de contextos sociais nesse processo de construção humana (Brasil, 2016, p. 147).

⁶⁰Essa é a terceira e última versão da *Base*. O documento apresenta em detalhes os conhecimentos e competências do Ensino Infantil e do Ensino Fundamental. O Ensino Médio será normatizado por um documento próprio.

Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_publicacao.pdf>. Acesso em: 14 de ago. de 2017. A versão anterior, de 2016, apresenta, além das seções referentes aos níveis Infantil e Fundamental, também um documento preliminar referente ao Ensino Médio. Disponível em: <<http://historiadabncc.mec.gov.br/documentos/bncc-2versao.revista.pdf>>. Acesso em: 14 de ago. de 2017.

No âmbito do Ensino Superior brasileiro, as Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química (Brasil, 2001), particularmente aquelas voltadas para a licenciatura plena, em consonância com os demais documentos citados, apontam para a necessidade dos futuros licenciados possuírem “uma visão crítica com relação ao papel social da Ciência e à sua natureza epistemológica, compreendendo o processo histórico-social de sua construção” (Brasil, 2001, p. 6, grifo nosso).

Delineadas as motivações, justificativas, razões e repercussões da relevância em se promover melhores compreensões sobre a ciência, discutimos a seguir qual abordagem para a Natureza da Ciência tem sido defendida no âmbito das pesquisas realizadas na Educação em Ciências.

2.3. Qual abordagem para a Natureza da Ciência tem sido defendida?

Diante da relevância, gradativamente construída na segunda metade do século XX, de se discutir compreensões sobre a ciência em todos os níveis de ensino, os pesquisadores da área de Educação em Ciências intensificaram a busca pela caracterização de quais conteúdos seriam adequados e relevantes para compor o constructo Natureza da Ciência. As dificuldades para realizar essa caracterização repousavam, dentre outros motivos, na existência de controvérsias e debates no âmbito das metaciências. Diante disso, que critérios adotar para selecionar o que é adequado e relevante aos estudantes?

Como visto no Capítulo 1 (seção 1.3.3.), Hodson (1985) argumentou, a partir de trabalhos publicados nas décadas anteriores defendendo a inserção da Filosofia da Ciência no ensino, que, apesar das diferentes perspectivas filosóficas em jogo, um grau de concordância podia ser observado entre elas a respeito de alguns aspectos relevantes ao ensino. Esse critério seria adotado e ampliado nos anos seguintes, de modo a incluir também conteúdos selecionados de História e Sociologia da Ciência. Constituiu-se assim a chamada *abordagem (ou visão) consensual* da Natureza da Ciência, entendida como os aspectos a respeito do empreendimento científico sobre os quais a maioria dos pesquisadores concorda, ou em torno dos quais há pouca discordância. Além disso, os aspectos selecionados devem ser acessíveis aos estudantes, isto é, devem levar em conta o nível de conhecimento, as habilidades e o desenvolvimento intelectual dos estudantes, e devem ser relevantes, importantes ou

úteis para a vida diária dos cidadãos (Lederman, 2006; Lederman *et al.*, 2014; Smith & Scharmann, 1999)⁶¹.

Os aspectos consensuais da Natureza da Ciência são enunciados de modo a contemplar um nível de generalidade que não levantaria objeções dos especialistas em História, Filosofia e Sociologia da Ciência ou, no mínimo, seriam pouco controversos. Esse cuidado se justificaria por conta do público ao qual são dirigidos, ou seja, professores e estudantes do ensino básico. As considerações sobre a Natureza da Ciência não visam a formação de especialistas nas metaciências, mas de cidadãos críticos e reflexivos, e para esse propósito não são necessários o mesmo rigor e profundidade exigidos na formação de historiadores, filósofos ou sociólogos da ciência (Abd-El-Khalick, 2012a; Lederman, 2007; McComas, Clough, & Almazroa, 1998a; Smith & Scharmann, 1999).

A abordagem consensual da Natureza da Ciência estabeleceu-se na década de 1990 e, desde então, tem orientado boa parte das pesquisas nessa temática (Abd-El-Khalick, 2012a; Henrique, Rozentalski, & Polati, 2015). Ainda que os conteúdos variem de um autor a outro, como veremos mais adiante, eles concordam entre si de que não há um consenso entre filósofos, historiadores e sociólogos sobre a Natureza da Ciência. Apesar disso, os adeptos da abordagem consensual argumentam que um consenso pedagógico pode ser estabelecido no Ensino de Ciências, sob a justificativa pragmática de que as concepções expressas nessa abordagem “são qualitativamente mais informadas do que as generalizações grosseiramente ingênuas, as quais atualmente dominam o discurso da ciência escolar” (Abd-El-Khalick, 2012, p. 355).

Com base nisso, nas últimas décadas, diversos grupos de pesquisa têm apresentado listas de aspectos consensuais sobre a Natureza da Ciência, destinadas a serem levadas ao ensino. Cada uma dessas listas apresenta suas particularidades, mas existem sobreposições significativas entre elas (Irzik & Nola, 2014; Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar, & Duschl, 2003). A lista apresentada a seguir é considerada por seus criadores como o núcleo básico de compreensões sobre a Natureza da

⁶¹Nosso foco, aqui, reside na abordagem consensual defendida por Lederman e colaboradores. No entanto, pesquisadores ibero-americanos também reconhecem que, apesar de existirem controvérsias nas metaciências, um consenso com finalidades educacionais é possível de ser estabelecido (Acevedo-Díaz *et al.*, 2005; Adúriz-Bravo *et al.*, 2002; Almeida & Farias, 2011; Hygino, Souza, & Linhares, 2012; Massoni & Moreira, 2010, 2012; Praia, Gil-Pérez, & Vilches, 2007; Silva & Moura, 2008; Teixeira *et al.*, 2009; Tobaldini *et al.*, 2011; Vital & Guerra, 2014). Ainda que haja sobreposições entre as ideias desses pesquisadores a respeito de quais são esses aspectos consensuais, cada proposta apresenta suas particularidades.

Ciência que os estudantes devem aprender⁶² (Lederman *et al.*, 2002, 2014; Lederman, 2007):

✓ *A natureza empírica do conhecimento científico*: a ciência se baseia em observações e evidências empíricas, e deriva delas, ainda que não unicamente;

✓ *Distinção entre observação e inferência*: observações são enunciados descritivos que são acessíveis “diretamente” aos sentidos (ou extensões dos sentidos); por outro lado, inferências vão além dos sentidos, e empregam entidades teóricas, como modelos, para explicar a observação dos fenômenos;

✓ *Distinção entre leis e teorias científicas*: leis e teorias são tipos diferentes de conhecimento científico – leis são descrições ou enunciados de relações entre fenômenos observáveis; teorias são explicações inferidas para os fenômenos observáveis;

✓ *A natureza criativa e imaginativa do conhecimento científico*: embora baseado em observações do mundo natural, ou delas derivado, ainda que parcialmente, o conhecimento científico envolve também a imaginação e a criatividade humana;

✓ *A natureza do conhecimento científico é carregada de teoria, ou subjetividade*: os compromissos teóricos, crenças, conhecimentos anteriores, treinamento, experiências e expectativas influenciam o que cientistas pesquisam e como pesquisam;

✓ *O mito do método científico*: não existe um único método que garanta a produção de conhecimento científico infalível, bem como uma sequência de etapas que levará os cientistas, de maneira infalível, a respostas ou soluções;

✓ *A natureza provisória do conhecimento científico*: embora durável na forma de fatos, leis e teorias, a ciência é provisória e sujeita a mudanças;

✓ *O enraizamento social e cultural do conhecimento científico*: a ciência, enquanto empreendimento humano, é praticada em um contexto mais amplo, e seus praticantes são produtos dessa cultura.

Nos trabalhos mencionados, Lederman e colaboradores detalham cada um desses aspectos da Natureza da Ciência. Os autores destacam, para cada aspecto, a compreensão que pretendem desenvolver com o ensino sobre a Natureza da

⁶²Nossa apresentação dos enunciados é mais sucinta em relação aos originais, nos quais os autores reservam um parágrafo com várias linhas para justificar e explicar o significado de cada um dos aspectos consensuais da Natureza da Ciência. Além disso, isso é feito na forma de um texto corrido, e não na forma de uma lista, como feito aqui.

Ciência. Nesse sentido, os destaques feitos por Lederman e colaboradores se tornam análogos a tópicos, enunciados ou afirmações de uma lista, cujos itens deveriam ser percorridos pelos professores.

McComas e colaboradores (1998), diferentemente de Lederman e colaboradores, apresentam explicitamente uma lista de aspectos consensuais sobre a Natureza da Ciência:

- ✓ Embora o conhecimento científico seja duradouro, tem caráter provisório;
- ✓ O conhecimento científico se apoia fortemente, mas não inteiramente, em observação, evidência experimental, argumentos racionais e ceticismo;
- ✓ Não existe um único modo de se fazer ciência (portanto, não existe um método científico universal, passo-a-passo);
- ✓ A ciência é uma tentativa para explicar os fenômenos naturais;
- ✓ Leis e teorias desempenham papéis diferentes na ciência; desse modo, estudantes deveriam perceber que teorias não se tornam leis, mesmo com evidências adicionais;
- ✓ Pessoas de todas as culturas contribuem com a ciência;
- ✓ Conhecimento novo deve ser relatado de maneira clara e aberta;
- ✓ Cientistas necessitam de registros cuidadosos, revisão por pares, e reprodutibilidade;
- ✓ Observações são carregadas de teoria;
- ✓ Cientistas são criativos;
- ✓ A história da ciência revela tanto um caráter evolucionário quanto revolucionário;
- ✓ A ciência faz parte de tradições sociais e culturais;
- ✓ Ciência e tecnologia têm impactos recíprocos;
- ✓ Ideias científicas são afetadas por seu meio social e histórico.

As listas podem também ser formuladas de acordo com um objetivo específico, como, por exemplo, a de Smith e Scharmann (1999), que almejam discutir a questão da demarcação entre ciência e não ciência, orientados pelas questões “Quais são as características deste campo que o tornam mais ou menos científico?” e “Em qual extensão este campo é científico?”. Segundo os autores, a lista abaixo se ampara em pesquisas empíricas, de modo que a maioria dos cientistas e filósofos consultados se mostrou favorável aos itens nela contidos:

Características *mais* científicas

1. *Objetos e processos de estudo*

- a) A ciência é empírica;
- b) Afirmações científicas são testáveis/falseáveis;
- c) Testes e observações científicas são reprodutíveis;
- d) A ciência é provisória/falível;
- e) A ciência é auto-regulada.

2. *Valores da ciência*

- a) A ciência dá um valor elevado a teorias que têm grande poder explicativo;
- b) A ciência dá valor ao poder preditivo;
- c) A ciência dá valor à fecundidade;
- d) A ciência dá valor à crítica;
- e) A ciência dá valor à simplicidade;
- f) Cientistas buscam coerência lógica em suas explicações;
- g) Cientistas valorizam o ceticismo.

Características *menos científicas*

3. *Inclinação/defesa de uma posição teológica.*

4. *Valorizar a autoridade acima da evidência.*

5. *Fideísmo*: confiança mais na fé do que na razão, onde fé é uma crença, na ausência de apoio por evidências.

Apesar de existirem diferentes listas de aspectos consensuais, Moura (2014) identifica uma sobreposição entre elas em relação aos seguintes aspectos:

- *A Ciência é mutável, dinâmica e tem como objetivo a busca de explicações para os fenômenos naturais;*
- *Não existe um método científico universal;*
- *A teoria não é consequência somente da observação/experimento e vice-versa;*
- *A Ciência é influenciada pelo contexto social, cultural, político, etc., no qual ela é construída;*
- *Os cientistas utilizam imaginação, crenças pessoais, influências externas, entre outros, para fazer Ciência.*

As listas da abordagem consensual são pensadas por seus criadores, dentre outras finalidades, para fomentarem abordagens explícitas e reflexivas, que visem discutir a Natureza da Ciência no âmbito de formação dos professores, de modo a proporcionar para esses sujeitos melhores compreensões sobre a ciência. Além disso,

a apresentação explícita desses aspectos aos professores de ciência, em conjunto com outras estratégias, possibilitaria que eles concebessem suas próprias abordagens e atividades para discutir a Natureza da Ciência com seus estudantes do ensino básico. A seguir, detalharemos algumas recomendações e estratégias de como abordar a Natureza da Ciência.

2.4. Como ensinar a Natureza da Ciência?

Apesar das muitas dúvidas ainda existentes sobre os fatores que influenciam o aprendizado sobre a Natureza da Ciência, as pesquisas realizadas nos últimos cinquenta anos permitem generalizar que seu aprendizado é facilitado por meio de abordagens explícitas e reflexivas, se comparadas a abordagens implícitas⁶³. Abordagens explícitas sobre a Natureza da Ciência, previamente planejadas e por meio de discursos visíveis, permitem aos estudantes seguirem uma linha de raciocínio, e proporciona a eles oportunidades para responder questões lançadas pelo professor, compartilhar pontos de vistas, defendê-los tendo em vista outras perspectivas, rever suas compreensões com base nas discussões, tomar decisões, etc. A abordagem explícita também possibilita ao professor esclarecer, questionar e aprofundar as compreensões enunciadas por seus estudantes. Nesse sentido, na abordagem explícita o aprendizado da Natureza da Ciência é um objetivo primário, enquanto na abordagem implícita este objetivo é secundário (Abd-El-Khalick, 2012b; Acevedo-Díaz, 2009; Driver *et al.*, 1996; Hodson, 2014; Lederman, 2007; McComas *et al.*, 1998a; Osborne *et al.*, 2003; Schwartz & Crawford, 2006; Vázquez-Alonso & Manassero-Mas, 2013; Vesterinen, Massanero-Mas, & Vázquez-Alonso, 2014).

A literatura apresenta três contextos por meio dos quais podemos abordar a Natureza da Ciência: *estudos de caso contemporâneos*, que abordam questões sociocientíficas da atualidade; *estudos de caso históricos*; e *investigação científica*⁶⁴.

⁶³A pedagogia de projetos das décadas de 1960 e 1970, e as pesquisas avaliando sua pertinência, contribuíram, em parte, para o consenso em torno das limitações da abordagem implícita, ao reunir evidências de que o fazer ciência não resultaria, necessariamente, em melhores compreensões sobre a Natureza da Ciência.

⁶⁴Allchin, Andersen e Nielsen (2014) consideram como atividades investigativas aquelas que são centradas nos estudantes (individualmente ou em grupo), realizadas em sala de aula ou no laboratório, e cujo objetivo seja se assemelhar ou mimetizar, de maneira autêntica, o processo de investigação científica, destacando como o conhecimento científico é produzido. Podemos complementar essa caracterização recorrendo ao viés de Lederman (2006), pelo qual a investigação científica pode ser a base para reflexões sobre a Natureza da Ciência se ela for conduzida no sentido de explicitar e levar

No Quadro 2, apresentamos os méritos e deficiências de cada um desses contextos, segundo Allchin, Andersen e Nielsen (2014):

Quadro 2 – Contextos para abordar a Natureza da Ciência: méritos e deficiências

Contexto	Méritos	Deficiências
Caso Contemporâneo	<ul style="list-style-type: none"> • Motiva o engajamento por meio da autenticidade, familiaridade e relevância, por estar acontecendo atualmente; • Pode promover a compreensão do contexto cultural, político e econômico da ciência; • Pode promover a compreensão de valores relacionados à ciência; • Pode promover a compreensão de aspectos críticos da ciência em construção: incerteza; provisoriade; subjetividade; múltiplas perspectivas; papel do financiamento; interesses políticos; enraizamento social da ciência; • Desenvolve habilidades científicas almejadas pelo letramento científico, tais como a argumentação e a tomada de decisões bem fundamentadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não pode ser totalmente resolvido, resultando em incerteza; • Dificuldade em como interpretar ou direcionar questões em torno da provisoriade e incertezas científicas em um caso particular; • Dificuldade em avaliar a evidência empírica e o papel dos fatores subjetivos que enviesam a evidência; • Não pode expor detalhes do processo, por não ser ainda de conhecimento público, ou por ser culturalmente nebuloso.
Caso Histórico	<ul style="list-style-type: none"> • Motiva o engajamento por meio do contexto cultural e humano, e por meio de seu formato em narrativa; • Pode promover a compreensão de aspectos da Natureza da Ciência que exigem um longo tempo para se desenvolver e modificar e, também, aspectos contextuais mais amplos: mudança conceitual; contextos culturais/biográficos/econômicos que influenciam problemas de pesquisa; e vieses interpretativos; • Pode promover a compreensão de uma perspectiva investigativa da Natureza da Ciência, por meio da apresentação de um problema, sua solução, os debates e a persuasão envolvidos nesse processo; • Pode promover a compreensão da complexidade da prática científica, bem como de sua dependência das condições históricas; • Permite a análise do processo e do produto, uma vez que os resultados finais são conhecidos; • Quando em conjunto com atividades de investigação, pode promover o desenvolvimento de habilidades do pensamento científico mais 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode parecer “velho”, inerentemente errado e, assim, irrelevante; • Demanda tempo significativo do professor para aprendê-lo, envolvendo conhecimento profundo do caso e da perspectiva para interpretá-lo; • Se baseado unicamente em textos, limita o desenvolvimento de habilidades experimentais; • Se apresentado na forma de reconstrução racional ou como um conteúdo de forma definitiva, não permite compreender como a ciência é feita.

os estudantes a refletir sobre o que eles fazem, porquê fazem e quais são as implicações do conhecimento produzido.

	eficientemente do que atividades práticas isoladamente; <ul style="list-style-type: none"> • Pode promover a compreensão do erro e de sua revisão no decorrer do desenvolvimento científico (natureza provisória e falível do conhecimento científico). 	
Investigação Científica	<ul style="list-style-type: none"> • Motiva o engajamento através do envolvimento pessoal; • Promove integração humana nas aulas; • Apoia a compreensão de interpretações, construção e revisão de modelos, e formas de evidência; • Desenvolve habilidades práticas e competências experimentais: elaborar hipóteses, projetar investigações, manipular dados e avaliar resultados; • Relaciona a natureza do conhecimento científico aos métodos e habilidades de investigação; • Desenvolve a compreensão de como as afirmações científicas podem ser defendidas ou criticadas no âmbito dos casos contemporâneos; • Pode promover compreensões da provisoriedade da ciência, sua característica empírica, inferencial, criativa e social. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificuldade de motivar todos os estudantes, especialmente como um grupo; • Pode ser encarada como um exercício artificial por parte dos estudantes (por exemplo, demonstrações que não engajem os estudantes); • Quando as investigações dão “errado”, emoções negativas entre os estudantes podem ocorrer e afastá-los das discussões sobre a Natureza da Ciência; • Dificuldade ou mesmo impossibilidade de se promover discussões sobre contextos sociais, culturais e políticos amplos; • Dificuldade em se discutir o papel do “acaso” ou contingências envolvidas; • Exige quantidade significativa de tempo e recursos.

Fonte: Adaptado de Allchin e colaboradores (2014, p. 473)

Os autores alertam que esses três contextos somente se tornam frutíferos para a promoção de compreensões da Natureza da Ciência quando centrados nos estudantes, baseados em reflexões explícitas e orientados pelo professor. Cada uma das abordagens visa contextualizar aspectos da Natureza da Ciência, e cada qual apresenta particularidades, forças e fraquezas. Devido a isso, esses contextos são complementares entre si, e devem ser utilizados em conjunto.

O papel do professor é crucial para orientar as reflexões em torno da Natureza da Ciência. No entanto, uma série de cuidados devem ser levados em consideração para que o potencial de transformação oriundo das discussões não seja reduzido nem resulte em compreensões opostas às que se pretende. Se o professor trabalhar numa posição de apresentador de verdades, o objetivo de desenvolver um ensino reflexivo e crítico será prejudicado. O que se pretende é que “os alunos reflitam sobre limites e possibilidades do conhecimento científico, [de modo que] as salas de aulas de

ciências precisam se tornar espaços de questionamento e não de transmissão unilateral do conhecimento científico” (Vital & Guerra, 2014, p. 228).

Aos professores em formação inicial ou continuada torna-se necessário explicitar o caráter especulativo, hipotético e provisório das próprias concepções sobre a Natureza da Ciência⁶⁵. Caso contrário, os professores podem desenvolver a concepção de que os debates cessaram no âmbito das metaciências, e que as compreensões atuais são definitivas – o que, possivelmente, irá influenciar sua abordagem para a Natureza da Ciência em sala de aula (Harres, 1999). O hábito de refletir continuamente sobre suas próprias compreensões deve ser incentivado (Massoni, 2009).

Adotar a perspectiva de compreensões provisórias sobre a ciência, ainda que baseada em boas razões, implica na compreensão de que não há uma posição ou resposta definitivamente “certa” e outras “erradas”. Isso pode causar, inicialmente, uma frustração nos estudantes, devido ao apreço do ensino tradicional de ciências naturais, em especial de Química e Física (muitas vezes rotuladas como *ciências exatas*), por uma única resposta possível e certa.

Nesse sentido, torna-se necessário o redirecionamento do foco de uma única resposta em direção ao reconhecimento de que existem outras perspectivas possíveis para um mesmo problema, cada uma das quais possuindo razões e justificativas próprias. Dessa forma, os estudantes podem construir autonomamente as razões e justificativas de suas crenças e, também, desenvolver atitudes e habilidades que permitam a eles compreenderem diferentes pontos de vista (Bentley & Fleury, 1998; Matthews, 1998). Algumas ideias apresentadas e discutidas sobre o conhecimento científico podem ser novas, e mesmo tão estranhas aos estudantes, que eles podem ter dificuldades para compreendê-las e tomar um posicionamento (isto é, avaliar se concordam ou não com elas, e porquê) (Sullenger & Turner, 1998).

Naturalmente, a implementação de discussões sobre a Natureza da Ciência em sala de aula envolve uma série de variáveis, as quais são delineadas e discutidas a seguir.

⁶⁵A própria pesquisa sobre a temática Natureza da Ciência realizada por pesquisadores ibero-americanos, em sua maioria, não esclarece ou reconhece nos artigos publicados nos principais periódicos a natureza controversa desse constructo (Henrique *et al.*, 2015).

2.5. Quais os desafios e obstáculos envolvidos?

Os desafios e obstáculos em torno da inclusão plena e fecunda de discussões sobre a Natureza da Ciência no Ensino de Ciências podem ser sumarizados, preliminarmente, em três domínios (McComas, 2013; Vesterinen *et al.*, 2014)⁶⁶:

✓ **Domínio curricular:** A Natureza da Ciência só pode ser efetivamente incluída no ensino se for integrada a ele, se for explicitada como um objetivo curricular e se os exames de avaliação de ciências incluírem aspectos dela.

✓ **Domínio pedagógico:** A Natureza da Ciência deve ser planejada detalhadamente e discutida explicitamente para atingir os objetivos do domínio curricular, de modo que sejam dadas aos estudantes as oportunidades para considerar, discutir, construir argumentos e consolidar suas compreensões sobre aspectos amplos da ciência.

✓ **Domínio afetivo:** Se o conteúdo e a forma de se ensinar a Natureza da Ciência não forem motivadores, interessantes e adequados, os estudantes provavelmente não a receberão positivamente.

No contexto internacional, os currículos direcionados para o ensino básico de diferentes países têm explicitado, em maior ou menor grau, a necessidade do ensino sobre a Natureza da Ciência, apontando quais aspectos merecem atenção. No Brasil, os documentos curriculares dos últimos anos vislumbram discussões sobre a ciência, conforme foi apresentado em seções anteriores. Apesar disso, quando comparada com os currículos de outros países, a incorporação de tais discussões ainda é reduzida. Ainda menos expressiva é a inserção, tanto no contexto internacional quanto no nacional, de aspectos da Natureza da Ciência em exames de avaliação de ciências.

Mesmo que ocorram avanços nos âmbitos mencionados, isso não garante a implementação das discussões sobre a Natureza da Ciência em sala de aula se o professor não for preparado adequadamente para ensiná-la. Ou seja, não basta promover compreensões mais elaboradas sobre ciência entre os professores: deve-se incorporar subsídios e estratégias de como ensinar, pois são os professores que tomam as decisões mais críticas, ao traduzir o currículo escrito em uma forma

⁶⁶McComas (2013) dirige suas considerações à implementação da História da Ciência no ensino. Por conta disso, estamos adaptando suas considerações à Natureza da Ciência, e complementando-as com as ideias de Vesterinen e colaboradores (2014).

aplicável em sala, decidindo o que, como e porquê aprender (Bentley & Fleury, 1998; McComas *et al.*, 1998b).

No contexto da formação inicial e, talvez em maior grau, na formação continuada de professores⁶⁷, as dificuldades se intensificam quando se tem em vista que os participantes foram formados segundo currículos cujos conteúdos, epistemologias, visões educacionais e objetivos são distintos do que se pretende com a inserção da Natureza da Ciência. Por isso, os professores em exercício possuem crenças passíveis de entrarem em conflito com tais inovações (Bentley & Fleury, 1998). Por exemplo, pesquisas indicam que os professores, em geral, não reconhecem a importância de se incluir a Natureza da Ciência como um objetivo educacional, e a veem com menor valor frente ao ensino dos conteúdos científicos. Mesmo professores que participaram de cursos sobre a Natureza da Ciência na formação inicial, em sua maioria, não reservam atenção explícita ao ensino dela em sua posterior atuação em sala de aula. Maior adesão é obtida se o curso de formação é estruturado não apenas para promover melhores compreensões dos futuros professores, mas incluindo também discussões sobre como ensinar. Ainda assim, isso não resulta, necessariamente, na implementação de discussões sobre a Natureza da Ciência por todos os professores, ou com o mesmo grau de importância e comprometimento por todos eles/elas, como revelaram as investigações de Clough e Olson (2012).

Por conta disso, “talvez uma convicção de que o ensino da Natureza da Ciência não é uma distração ‘adicional’ – mas, mais do que isso, é uma parte integral do conteúdo efetivo – é crucial para professores incorporarem o ensino da Natureza da Ciência” (Clough & Olson, 2012, p. 262).

A pesquisa empírica interessada em avaliar intervenções didáticas voltadas a promover compreensões mais adequadas sobre a ciência tem apontado que melhores compreensões podem ser desenvolvidas pelos estudantes de todos os níveis de ensino. Contudo, os professores devem estar preparados para lidar tanto com concepções prévias que permanecem mesmo após a intervenção quanto com a possibilidade de, decorrido algum tempo, as novas compreensões darem lugar, novamente, às concepções prévias (Ferreira & Martins, 2012).

⁶⁷Por exemplo, Firestone e colaboradores (2012) argumentam que professores iniciantes têm compreensões sobre a Natureza da Ciência mais flexíveis do que professores mais experientes, o que tornaria mais provável a mudança nas compreensões dos primeiros.

O processo de mudança é complexo, não linear e prolongado no tempo, ocorrendo a coexistência das concepções prévias dos estudantes com as concepções aprendidas a partir das instruções baseadas na Natureza da Ciência (Abd-El-Khalick, 2012b; Aguiar Jr., 2001)⁶⁸. Dado que as primeiras estão fortemente enraizadas nos estudantes, intervenções pontuais, isto é, sem o prosseguimento de discussões sobre a temática, podem resultar em efeitos modestos, sendo provável que as novas compreensões sejam esquecidas ao longo do tempo.

Diante disso, no contexto da formação inicial e continuada de professores, a inclusão de uma única disciplina de temática histórico-filosófica, ainda que possa ter efeito significativo (Firestone, Wong, Luft, & Fay, 2012), por si só não garante a superação das dificuldades. A disciplina de caráter histórico-filosófico deve ser vinculada a outras disciplinas, como, por exemplo, metodologia, prática e pesquisa em ensino, de maneira a estabelecer relações dialógicas e contextos variados para discutir explicitamente sobre ciência (Harres, 1999). A diversidade de momentos e contextos para a reflexão crítica a respeito de concepções sobre a Natureza da Ciência, bem como suas implicações didáticas em salas de aula, pode reforçar a construção de compreensões bem fundamentadas.

Outro desafio relacionado à presença da Natureza da Ciência em sala de aula é a questão da avaliação do aprendizado, que é objeto de análise na seção a seguir.

2.6. Como avaliar a aprendizagem da Natureza da Ciência?

Os instrumentos para acompanhar e avaliar a aprendizagem da Natureza da Ciência⁶⁹ incluem questionários, atividades escritas, entrevistas e observações em sala de aula (Hodson, 2014)⁷⁰. Embora haja questões metodológicas específicas de cada um desses instrumentos, sua construção é orientada, explícita ou implicitamente, pelo referencial de Natureza da Ciência adotado pelo investigador.

⁶⁸Aguiar Jr. (2001) dirige suas considerações para os consensos em torno da mudança conceitual, ou seja, para a aprendizagem dos conteúdos científicos. Apesar do objeto distinto, entendemos que essas considerações, em alguma medida, também se aplicam ao aprendizado dos conteúdos sobre ciência.

⁶⁹Todos os instrumentos que serão descritos aqui podem ser aplicados em contextos que não objetivam promover explicitamente melhores compreensões sobre a Natureza da Ciência por meio de intervenções didáticas, ou seja, contextos em que se está interessado, unicamente, em identificar e diagnosticar as compreensões dos estudantes.

⁷⁰As considerações apresentadas aqui são baseadas em termos da metodologia de pesquisa envolvida na avaliação da Natureza da Ciência. Apesar disso, elas podem, em alguma medida, fundamentar e orientar as atividades de avaliação típicas realizadas em sala de aula, que não visam o mesmo rigor metodológico.

Um dos instrumentos mais utilizados é o questionário, o qual pode ser aberto (respostas dissertativas), fechado (assinalam-se respostas previamente delimitadas, ou o grau de concordância/discordância com as afirmações apresentadas) ou misto (com questões abertas e fechadas). Os questionários podem ser aplicados antes (pré-teste) ou depois da intervenção (pós-teste). Comumente são validados por outros pesquisadores não envolvidos diretamente na pesquisa, ou aplicados em turmas piloto, com intuito de avaliar se as perguntas e as respostas dadas são condizentes com os objetivos (Lederman *et al.*, 2002, 1998).

Os questionários permitem acesso ao registro escrito das compreensões do estudantes, sendo rápidos e fáceis de aplicar (Hodson, 2014). Por outro lado, questionários podem ser restritivos, incapazes de acomodar significados sutis, e suscetíveis de interpretações equivocadas por parte dos investigadores. Uma mesma resposta assinalada pode ser fruto de raciocínios muito diferentes, assim como raciocínios semelhantes podem se referir a respostas diferentes. Nos questionários fechados, as escolhas são restritas, forçando a resposta para uma das escolhas possíveis. A complexidade e sutileza das ideias envolvidas na Natureza da Ciência dificulta a seleção de uma linguagem apropriada para elaborar as questões, o que pode resultar em dificuldade para expressar o que se pretende investigar de uma forma que seja inteligível pelo participante (Hodson, 2014).

Nas últimas décadas, os educadores estadunidenses Norman Lederman, Fouad Abd-El-Khalick, Randy Bell e Renée Schwartz desenvolveram e refinaram uma série de questionários para investigar as visões dos aprendizes e gerar perfis de significados que eles atribuem para os vários aspectos da Natureza da Ciência, com o intuito de informar seu ensino-aprendizagem (Lederman *et al.*, 2002). Uma das últimas versões do questionário, chamado de *Views of Nature of Science Questionnaire - Form C (VNOS-C)* [Questionário Visões da Natureza da Ciência – Formulário C], resulta do aprimoramento e expansão das versões anteriores, VNOS-A e VNOS-B, processo que incluiu sua validação por educadores, historiadores da ciência e cientistas. A elaboração do VNOS-C foi alimentada pelo conhecimento das dificuldades envolvidas em responder aos questionários que o antecederam, por diferentes públicos (alunos do ensino médio, estudantes universitários, professores do ensino fundamental e médio em formação inicial e continuada) e em diferentes localidades do mundo. Esse processo incluiu também a realização de entrevistas com uma parcela dos investigados, para avaliar as respostas dadas a cada um dos itens,

bem como avaliar a adequação das interpretações dadas pelos pesquisadores às respostas.

O VNOS-C (Quadro 3) foi concebido para avaliar os seguintes aspectos da abordagem consensual da Natureza da Ciência: 1) a natureza empírica do conhecimento científico; 2) a distinção entre observação e inferência; 3) a distinção entre leis e teorias; 4) a natureza criativa e imaginativa do conhecimento científico; 5) o papel das concepções prévias dos cientistas (compromissos teóricos) no fazer científico; 6) o enraizamento social e cultural do conhecimento científico; 7) o mito a respeito da existência do método científico; e 8) a natureza provisória do conhecimento científico.

Quadro 3 – Questionário aberto VNOS-C

VNOS-C
1. O que é, em sua visão, ciência? O que faz a ciência (ou uma disciplina científica como a física, biologia, etc.) diferente de outras formas de investigação (por exemplo, religião e filosofia)?
2. O que é um experimento?
3. O desenvolvimento do conhecimento científico requer experimentos? <ul style="list-style-type: none"> • Se sim, explique a razão. Dê um exemplo para defender sua posição. • Se não, explique a razão. Dê um exemplo para defender sua posição.
4. Após cientistas terem desenvolvido uma teoria científica (por exemplo, teoria atômica e teoria da evolução), a teoria pode se transformar? <ul style="list-style-type: none"> • Se você acredita que teorias científicas não mudam, explique a razão. Defenda sua resposta com exemplos. • Se você acredita que teorias científicas mudam: (a) Explique por que teorias mudam. (b) Explique por que nos preocupamos em aprender teorias científicas.
5. Há diferença entre uma teoria científica e uma lei científica? Ilustre sua resposta com um exemplo.
6. Os livros didáticos de ciência frequentemente representam o átomo como um núcleo central composto de prótons (partículas carregadas positivamente) e nêutrons (partículas neutras), com elétrons (partículas carregadas negativamente) orbitando ao redor daquele núcleo. Quão certos os cientistas estão sobre a estrutura do átomo? Qual evidência específica você pensa que os cientistas usaram para determinar com o que um átomo se parece?
7. Os livros didáticos frequentemente definem uma espécie como um grupo de organismos que compartilha características similares e podem cruzar uns com os outros, produzindo descendentes férteis. Quão certos os cientistas estão de sua caracterização do que é uma espécie? Qual evidência específica você pensa que os cientistas usaram para determinar o que é uma espécie?
8. Acredita-se que há cerca de 65 milhões de anos os dinossauros foram extintos. Entre as hipóteses formuladas pelos cientistas para explicar a extinção, duas recebem maior apoio. A primeira, formulada por um grupo de cientistas, sugere que um imenso meteorito atingiu a Terra 65 milhões de anos atrás e acarretou uma série de eventos que causou a extinção. A segunda hipótese, formulada por outro grupo de cientistas, sugere que grandes e violentas erupções vulcânicas foram responsáveis pela extinção. Como essas conclusões diferentes são possíveis se os cientistas de ambos os grupos tiveram acesso e utilizaram o mesmo conjunto de dados para obter suas conclusões?

9. Alguns afirmam que a ciência é impregnada com valores sociais e culturais. Ou seja, ciência reflete valores sociais e políticos, posições filosóficas e normas intelectuais da cultura na qual ela é praticada. Outros afirmam que a ciência é universal. Ou seja, a ciência transcende fronteiras nacionais e culturais e não é afetada por valores sociais, políticos e filosóficos, nem pelas normas intelectuais da cultura na qual ela é praticada.

- Se você acredita que a ciência reflete valores sociais e culturais, explique a razão. Defenda sua resposta com exemplos.
- Se você acredita que a ciência é universal, explique a razão. Defenda sua resposta com exemplos.

10. Os cientistas realizam experimentos/investigações quando estão tentando encontrar respostas para as questões que eles propuseram. Os cientistas usam criatividade e imaginação durante suas investigações?

- Se sim, então em qual estágio da investigação você acredita que os cientistas usam sua imaginação e criatividade: projeto e planejamento, coleta de dados, após a coleta de dados? Por favor, explique por que os cientistas usam criatividade e imaginação. Forneça exemplos se for apropriado.
- Se você acredita que cientistas não usam imaginação e criatividade, por favor, explique o porquê. Forneça exemplos se apropriado.

Fonte: Lederman e colaboradores (2002, p. 509).

Os instrumentos elaborados por Lederman e colaboradores (2002), em suas diferentes versões, têm sido empregados, seja integralmente ou como base para a construção de novos instrumentos, por pesquisadores interessados tanto em diagnóstico (sem intervenção) quanto na avaliação de intervenções didáticas visando promover melhores compreensões sobre a Natureza da Ciência. Exemplos podem ser encontrados na literatura internacional (Akerson & Hanuscin, 2007; Leung, Wong, & Yung, 2015; Ozgelen, Yilmaz-Tuzun, & Hanuscin, 2013; Roehrig & Luft, 2004; Rudge, Cassidy, Fulford, & Howe, 2014)⁷¹ e nacional (El-Hani, Tavares, & Rocha, 2004; Teixeira, El-Hani, & Freire Jr., 2001; Teixeira, Freire Jr., & El-Hani, 2009).

Os questionários de Lederman e colaboradores (2002) não estão imunes a problemas, e têm recebido críticas diversas desde suas primeiras versões (Allchin, 2011, 2012; Rudge & Howe, 2013), tais como as seguintes:

- Os questionários se fundamentam em enunciados declarativos sobre a ciência, como, por exemplo, a ciência é provisória, envolve criatividade, etc. Por conta disso, a avaliação pode se restringir ao nível de memorização dos estudantes;

⁷¹O VNOS-C não é o único instrumento difundido na literatura internacional sobre essa temática. A pesquisa ibero-americana, em especial a realizada por pesquisadores espanhóis (Manassero-Mas & Vázquez-Alonso, 2001; Vázquez-Alonso & Manassero-Mas, 1999; Vázquez-Alonso, Manassero-Mas, & Talavera, 2010), se orientou por diferentes versões do questionário *Views on Science-Technology-Society (VOST)* [Visões sobre Ciência-Tecnologia-Sociedade], desenvolvido pelos educadores Glen Aikenhead e Alan Ryan (1992). A opção pelo VOST pode ser atribuída a compreensões distintas sobre o que é Natureza da Ciência e, por consequência, sobre quais conteúdos se pretende ensinar e avaliar. Em trabalho recente, Vesterinen e colaboradores (2014) discutiram a importância da Natureza da Ciência no âmbito da abordagem CTS.

- Uma parte dos questionários apresenta perguntas descontextualizadas, o que pode dificultar seu entendimento pelos estudantes, devido à sua alta abstração e pouca familiaridade com o que eles já conhecem. Esse tipo de pergunta também não permite avaliar como eles compreendem a Natureza da Ciência e aplicam esse conhecimento em contextos autênticos;
- Respostas breves dadas pelos estudantes podem ser interpretadas como concepções pouco elaboradas sobre a Natureza da Ciência, quando elas podem ser, ao contrário, oriundas tanto de dificuldades em se expressar textualmente quanto da falta de tempo ou motivação para responder ao questionário;
- O VNOS tem o potencial para avaliar se uma mudança ocorreu, contudo é extremamente limitado para fornecer indicativos do porquê a mudança ocorreu, pois nenhuma de suas questões visa levar os estudantes a refletirem sobre os motivos que levaram à mudança de concepção;
- O protocolo adotado por Lederman e colaboradores (2002), de realizar entrevistas apenas com uma parcela de estudantes e generalizar os resultados para o total de estudantes, é problemático na medida que as entrevistas revelam que, para um número significativo de estudantes, as respostas aos questionários são drasticamente diferentes de suas respostas às entrevistas.

Um instrumento utilizado amplamente na pesquisa em torno da temática Natureza da Ciência é a entrevista, especialmente na forma semi-estruturada (Hodson, 2014). Nesse tipo de entrevista, o pesquisador se orienta por um roteiro de questões, que serve como uma lista dos temas a serem investigados, mas proporcionando liberdade ao entrevistador para explorar aspectos particulares que surgem no decorrer do diálogo com o entrevistado. Distingue-se da entrevista estruturada, na qual o entrevistador realiza as perguntas e o entrevistado as responde, sem que haja liberdade para ir além do que consta no roteiro de questões, diminuindo o grau de dialogicidade entre entrevistador e entrevistado (Minayo, 2006).

As entrevistas possibilitam acesso oral às compreensões dos estudantes e, quando semi-estruturadas, permitem explorar em profundidade essas compreensões. No entanto, sua fecundidade pode ser prejudicada pela relação assimétrica entre entrevistador (pesquisador) e entrevistado (estudantes): alguns estudantes podem ficar tímidos, relutantes em falar, ansiosos ou com medo. Assim, eles podem

responder o que lhes pode parecer aceitável ou esperado pelo entrevistador⁷² (Hodson, 2014).

Cada vez mais se tem destacado a importância de conceber as questões de um questionário ou entrevista a partir da descrição de um evento ou cenário, isto é, cria-se um contexto para o que se pretende perguntar (Allchin, 2011; Hodson, 2014; Lederman *et al.*, 2014). Essa orientação metodológica se desenvolveu após algumas décadas de pesquisas empíricas baseadas, majoritariamente, em questões descontextualizadas. No Quadro 3 encontramos alguns exemplos de questões descontextualizadas, tais como: “O que é, na sua visão, uma teoria científica?”. Elas podem parecer muito vagas e não ser compreendidas pelos estudantes, gerando problemas adicionais de interpretação por parte do pesquisador.

Por outro lado, problemas particulares são engendrados nessa perspectiva: a criação de contextos não garante que a resposta dos estudantes esteja relacionada com suas visões sobre ciência. O cenário delineado pode fornecer elementos para a resposta dos estudantes que não seriam possíveis sem ele⁷³, reduzindo a autonomia dos estudantes em formularem uma resposta que reflita de forma mais completa sua visão. Além disso, cada contexto apresenta suas idiossincrasias, exigindo conhecimentos específicos daquele domínio para ser compreendido, o que pode dificultar a comparação entre compreensões de estudantes relativas a contextos diferentes entre si. Finalmente, questões elaboradas a partir de um único contexto podem restringir o acesso às compreensões dos estudantes (Abd-El-Khalick, 2012; Hodson, 2014; Lederman *et al.*, 1998). Hodson (2014) aponta os seguintes critérios para minimizar esses problemas: estabelecer um contexto familiar, no qual os conceitos científicos subjacentes sejam compreendidos previamente pelos estudantes, e que envolva situações de interesse dos estudantes; além disso, que lhes permita a oportunidade de utilizarem conhecimentos oriundos de outras situações.

A interpretação dos resultados obtidos a partir dos diferentes instrumentos pode ser realizada sob duas perspectivas: uma na qual a visão dos investigados é avaliada a partir de uma visão ideal ou aprovada da Natureza da Ciência, o que pode levar a

⁷²Questionários também estão sujeitos ao mesmo tipo de risco.

⁷³Em termos mais amplos, não se pode rejeitar que, ao longo da avaliação, os próprios estudantes possam aprimorar suas compreensões pelo fato de se encontrarem numa posição de reflexão sobre o que pensam e de expressarem, seja oralmente ou por escrito, suas ideias.

juízos de valor a respeito das compreensões, no sentido de considerá-las, por exemplo, adequadas/inadequadas, melhores/piores ou certas/erradas; e uma abordagem cujo objetivo é avaliar as compreensões dos investigados a partir de seus próprios termos (Abd-El-Khalick, 2012b; Hodson, 2014; Lederman *et al.*, 1998).

A adoção da primeira perspectiva sugere que o propósito da avaliação, quando aplicada no contexto de uma intervenção didática, é o de identificar se os estudantes alcançaram os aspectos sobre a Natureza da Ciência previamente delimitados no início da intervenção, sendo, nesse sentido, um fim. Essa postura implica na existência de uma posição filosófica particular para a qual todos devem convergir, negligenciando que muitos aspectos discutidos sobre a Natureza da Ciência não são consensuais na comunidade de especialistas das metaciências (Lederman *et al.*, 2002, 1998).

Por outro lado, o segundo modo de interpretar os resultados obtidos considera que os aspectos avaliados são um meio para promover as reflexões e o desenvolvimento dos estudantes, não sendo usados como um padrão externo para julgá-los. Os esforços são para elucidar como e por que os estudantes apresentaram uma dada compreensão.

Diante do que foi delineado nesta seção, constata-se que todos os instrumentos possuem potencialidades e riscos inerentes para avaliar as compreensões sobre a Natureza da Ciência. O emprego conjunto de diferentes instrumentos, flexíveis e abertos, torna-se importante na medida em que minimiza as dificuldades impostas pelo emprego de um único instrumento. A adoção, por exemplo, de questionários e entrevistas como instrumentos de avaliação, permite minimizar as discrepâncias entre as interpretações realizadas a partir das respostas escritas pelos estudantes e as interpretações feita pelos pesquisadores a partir de suas entrevistas (Hodson, 2014; Lederman *et al.*, 2014).

2.7. Críticas à abordagem consensual (e contra-argumentos)

A despeito da fecundidade de desdobramentos que a abordagem consensual sobre a Natureza da Ciência trouxe para a Educação em Ciências, observa-se que ela vem sendo criticada por filósofos (Alters, 1997b; Eflin, Glennan, & Reisch, 1999; Irzik & Nola, 2011, 2014), historiadores (Allchin, 2011, 2012) e educadores (Campanario, 1999; Dagher & Erduran, 2016; Erduran, 2013a; Erduran & Dagher,

2014; Hodson, 2014; Martins, 2015; Matthews, 2012; Teixeira *et al.*, 2009; Vázquez-Alonso *et al.*, 2008; Vesterinen *et al.*, 2014). Nos últimos anos, as críticas se intensificaram e se caracterizaram por dissecar a abordagem consensual, apontando uma diversidade de limitações e aspectos problemáticos em torno dela. Em anos mais remotos, também se constata críticas, ainda que em menor número, à abordagem consensual.

Um primeiro nível de críticas se dá em relação ao emprego do termo “Natureza da Ciência”, que pode ser interpretado como uma essência⁷⁴ da ciência, cuja constituição seria atemporal, fixa, necessária e suficiente para descrever todas as atividades científicas e para demarcá-la de outras atividades (Allchin, 2011; Eflin *et al.*, 1999; Irzik & Nola, 2014; Matthews, 2012). No âmbito do ensino, o uso de tal termo pode dar “a impressão de que a ciência não tem história e que não há espaço para a mudança em sua natureza” (Irizik & Nola, 2011, p. 593).

Um segundo nível de críticas envolve os critérios de construção/justificação da abordagem consensual, em especial, o critério que assume que é possível delimitar um grau de concordância entre as discussões das metaciências. No âmbito da Filosofia da Ciência, Alters (1997a, 1997b) argumentou, a partir de uma pesquisa empírica realizada com filósofos da ciência estadunidenses, que não haveria unanimidade entres eles a respeito de nenhum dos aspectos sobre a Natureza da Ciência comumente divulgados por educadores e documentos curriculares oficiais, bem como não haveria consenso a respeito de quais aspectos deveriam ser incluídos.

Ainda que os defensores da abordagem consensual argumentem que a Natureza da Ciência é construída a partir da identificação de consensos em diferentes metaciências, em especial, a Filosofia da Ciência, a História da Ciência e, ainda que menos citada por eles, a Sociologia da Ciência, nenhum critério é apresentado a respeito de como equilibrar os aspectos dos diferentes campos. Como veremos mais adiante, críticas são direcionadas ao fato de seu conteúdo contemplar majoritariamente aspectos da Filosofia da Ciência. Sendo assim, que critérios foram adotados para dar maior peso a este campo em detrimento dos outros? Há justificativas para isso?⁷⁵

⁷⁴Para corroborar a alegação desses autores, podemos verificar em um dicionário de Filosofia que, dentre os diferentes significados que *natureza* pode assumir, um diz respeito à essência das coisas, sendo um conjunto de propriedades que definem uma coisa (Japiassú & Marcondes, 2001).

⁷⁵Em alguma medida, respondemos a essa questão na primeira seção deste capítulo, ao apontar que o significado atribuído ao constructo Natureza da Ciência orienta a seleção de seus conteúdos. No caso

O critério de se basear apenas em consensos, tomando-os como um valor absoluto, gera críticas também pelo fato de “esconder” ou “silenciar” as controvérsias e as crenças menos aceitas, o que resulta na omissão de seu papel no processo de construção do conhecimento científico, no qual os consensos – seja na ciência ou nas metaciências – são estabelecidos por meio de processos prévios de desacordo (Vázquez-Alonso *et al.*, 2008).

Também se crítica o apelo ao consenso entre educadores como justificativa para apoiar a abordagem consensual, entendendo-a como um argumento que parece justificar a si próprio. A adoção dessa abordagem baseia-se mais em questões históricas e políticas do que em uma conclusão bem discutida ou justificada adequadamente, não havendo critérios claros e razões em relação ao que deve ser incluído e o que não deve (Allchin, 2012).

Um terceiro nível de crítica diz respeito à forma pela qual são enunciados os aspectos da abordagem consensual. A comunicação da abordagem consensual ocorre na forma de listas de enunciados declarativos ou princípios curtos, diretos e generalistas, os quais se caracterizam por afirmar aspectos sobre a Natureza da Ciência. Sugere-se, em vista de tal apresentação, que os enunciados são entidades independentes, abrangendo de maneira não problemática aspectos epistemológicos, sociológicos, históricos, psicológicos, éticos, etc. A forma influencia, também, o modo pelo qual as listas podem ser empregadas no ensino, prorizando-se a memorização de seus itens (Allchin, 2011; Hodson, 2014; Irzik & Nola, 2014; Martins, 2015; Matthews, 2012).

Um quarto nível de críticas concerne ao conteúdo dos enunciados. A maioria dos enunciados não são específicos da ciência, nem individualmente, nem coletivamente. Por exemplo, os enunciados “todo o conhecimento científico é provisório” e “a criatividade é um elemento envolvido na construção do conhecimento científico”, apesar de aplicáveis à ciência, não ajudam a distinguir essa forma de conhecimento de outras atividades humanas, se este for um propósito em vista (Hodson, 2014; Irzik & Nola, 2011, 2014). Acrescenta-se, ainda, que enunciados como “o conhecimento científico é uma tentativa para explicar fenômenos naturais” e “a ciência desempenha um papel importante na tecnologia”, não são muito fecundos ou úteis para os estudantes compreenderem o que é a ciência (Hodson, 2014). Esses enunciados se

de Lederman e colaboradores, o significado se refere à epistemologia da ciência, permitindo compreender o porquê da maior ênfase nos aspectos oriundos da Filosofia da Ciência.

caracterizam, ainda, por focar, majoritariamente, aspectos epistemológicos oriundos da Filosofia da Ciência, destacando a natureza do conhecimento científico e os procedimentos envolvidos em sua produção. Os tópicos remanescentes fazem referência a aspectos cognitivos, sociais e culturais da ciência, mas de maneira extremamente ampla e sem detalhes suficientes (Campanario, 1999; Erduran, 2013a; Matthews, 2012; Vázquez-Alonso *et al.*, 2008; Vesterinen *et al.*, 2014). Essa superficialidade “enfraquece, em alguma medida, a riqueza das raízes históricas, filosóficas ou sociológicas originais da abordagem humanística para a educação em ciência” (Vesterinen *et al.*, 2014, p. 1918), de maneira a restringir compreensões importantes sobre a ciência oriundas de campos outros que não a Filosofia da Ciência.

Apesar de Lederman e colaboradores terem enfatizado que a Natureza da Ciência se refere à natureza do conhecimento científico⁷⁶, sugerindo um interesse apenas na análise das bases epistemológicas dos produtos da ciência (teorias, leis, conceitos, etc.), a abrangência desse constructo remete a um escopo mais amplo, envolvendo também a natureza do empreendimento científico e a natureza dos cientistas (Erduran & Dagher, 2014; Martins, 2015).

Há, também, o problema da interpretação dos enunciados. Tome-se, por exemplo, o enunciado que trata da natureza provisória do conhecimento: pode-se interpretar que *todo* conhecimento científico é provisório – o que pode não ser verdadeiro. Também o enunciado a respeito da inexistência de um método científico único e rígido pode ser interpretado como se a ciência não possuísse qualquer tipo de método(s), e assim por diante. A própria afirmação curta “o conhecimento científico é subjetivo” pode se tornar problemática, na medida em que aponta explicitamente uma característica que pode ser interpretada como se referindo ao conhecimento científico em si, enquanto ela visa, ao contrário, ressaltar o envolvimento dos sujeitos e os fatores subjetivos na construção do conhecimento (Teixeira *et al.*, 2009). Nesse sentido, embora a abordagem consensual se posicione contra uma visão positivista, realista ingênua e de senso comum, inclinando-se em direção a um relativismo

⁷⁶Lederman e colaboradores (2014) apontam que, em meados da década de 1980, a expressão *natureza do conhecimento científico* começou a ser substituída pelo termo *natureza da ciência*. Nossa revisão bibliográfica a respeito da História, Filosofia e Sociologia da Ciência na Educação em Ciências, apresentada no Capítulo 1, nos leva a uma opinião diferente a esse respeito. A leitura exaustiva em quantidade e diversidade de trabalhos constatou amplo uso do termo *natureza da ciência* desde a segunda metade do século XX, ainda que com significados diversos do estabelecido pelas discussões realizadas nas últimas décadas.

moderado⁷⁷, ela pode ser interpretada de modo a resultar em um relativismo exacerbado por parte de estudantes e professores (Allchin, 2011; Hodson, 2014; Martins, 2015).

A lista de enunciados produz ainda uma dificuldade em se delimitar se eles descrevem a ciência como ela deveria ser ou como ela é, criando uma tensão entre ciência idealizada e real e, em especial, a respeito de como interpretar os enunciados: são descritivos ou normativos sobre a Natureza da Ciência? (Allchin, 2011).

Um quinto nível de críticas à abordagem consensual se refere a suas implicações, em especial, ao fato de ela sugerir uma visão que abrangeria todas as formas de ciência. De maneira geral, não se rejeita que exista um consenso sobre aspectos da Natureza da Ciência propícios a serem ensinados; contudo, quando nos detemos apenas sobre esses aspectos, uma única visão sobre a ciência é contemplada no Ensino de Ciências, em detrimento da diversidade que há entre as diferentes disciplinas científicas (Dagher & Erduran, 2016; Hodson, 2014; Irzik & Nola, 2011, 2014).

Para exemplificar isso, Irzik e Nola (2011) tomam como exemplos a astronomia e a cosmologia que, quando comparadas com a química, são disciplinas majoritariamente não experimentais⁷⁸. Nesse caso, quando consideramos que um dos enunciados aponta que a ciência se baseia, ainda que não inteiramente, em

⁷⁷Allchin (2011) avalia que os aspectos selecionados para compor a Natureza da Ciência se distanciaram dos debates acalorados oriundos das “guerras das ciências”, pós-modernismo, construtivismo social, etc., constituindo-se em um constructo que não é nem radical nem reacionário.

⁷⁸A posição de Irzik e Nola (2011) não é consensual. No século XIX, filósofos como Auguste Comte (1798-1857) e Claude Bernard (1813-1878) defendiam que a astronomia era uma ciência essencialmente observacional, no sentido de que ela poderia prever os movimentos dos corpos celestes, mas não podia modificar os fenômenos celestes pela experimentação. Pecker (1970), por outro lado, argumentou que a astronomia é uma ciência experimental. Por exemplo, ao se construir um instrumento para se determinar uma grandeza física de um corpo celeste, a teoria que orienta a interpretação das medições pode revelar uma discrepância entre o previsto e o observado, ou ser incapaz de explicar o observado. Isso implicará em uma reavaliação na escolha de quais medidas são válidas e na construção ou adaptação dos instrumentos de medida. Outro exemplo dado por ele é a escolha de certos parâmetros pelos astrônomos para construir um modelo e comparar suas características observáveis com as medições realizadas. Segundo Pecker (1970), em ambos os casos os astrônomos estão realizando experimentos. Considerando essas diferentes posições, optamos pela concepção de que o principal papel dos experimentos é criar fenômenos, isto é, criar eventos ou processos que ocorrem regularmente ou que são excepcionais na Natureza sob certas circunstâncias, por meio de instrumentos ou aparatos científicos (Hacking, 2012). Além disso, concluímos que apontar se uma disciplina científica é experimental ou não depende do que se conhece em relação à sua história, epistemologia, objetivos, métodos, resultados, etc. e, principalmente, dos critérios adotados para se delimitar epistemologicamente e ontologicamente o significado de *experimento* e *experimentação*.

experimentos, como poderíamos manter o estatuto científico da astronomia e da cosmologia?

Além disso, a recorrência predominante à Filosofia da Ciência para caracterizar a Natureza da Ciência parece não levar em conta que, ao longo do século XX, os debates no âmbito da Filosofia da Ciência consideraram, majoritariamente, a Física como ciência modelo para as discussões (Campanario, 1999; Hodson, 2014) – o que torna enviesado o objetivo exposto pelos adeptos da abordagem consensual de apresentar uma visão generalista sobre a ciência.

Como salientam Irzik e Nola (2011), ao se adotar uma postura rígida de demarcação da ciência no ensino, a riqueza, o caráter dinâmico e a diversidade das disciplinas científicas são negligenciados, resultando em uma visão da ciência, ou mais precisamente, das *ciências*, distante do que elas são. De modo semelhante, Hodson (2014) argumenta as disciplinas científicas diferem em vários aspectos: questões de pesquisa, métodos e tecnologias para respondê-las, tipos de evidências buscadas, extensões em que o experimento é utilizado, modos pelos quais os dados que constroem as teorias são reunidos, padrões pelos quais as investigações e conclusões são julgados, e a natureza dos argumentos empregados. Por consequência, caso tomada irrefletidamente, a lista de aspectos consensuais conduziria a uma visão rígida da ciência, justamente o que boa parte dos educadores de ciências se propõe a combater por meio da sua discussão explícita (Irzik & Nola, 2011, 2014).

Um último nível de críticas pode ser discutido em relação à abordagem consensual, a saber, os fundamentos e propósitos educacionais do ensino da Natureza da Ciência. Não se identificam, nos trabalhos que seguem essa vertente, as teorias de ensino-aprendizagem adotadas ou sugeridas para orientar o ensino da Natureza da Ciência. O debate em torno desse constructo é fechado em si mesmo, na medida em que seus proponentes não recorrem a referenciais educacionais para fundamentar seu ensino. Além disso, comumente os autores justificam o propósito educacional da Natureza da Ciência no sentido de formar cidadãos críticos e reflexivos. Contudo, não se esclarece ou se fundamenta os entendimentos e significados a respeito dessa concepção de cidadania. A expressão “cidadãos críticos e reflexivos” se tornou um jargão das pesquisas a respeito da Natureza da Ciência, como se fosse autoevidente e autoexplicativa.

Uma parte das críticas dirigidas à abordagem consensual recebeu respostas por parte de seus defensores. A respeito dos critérios de construção/justificação, eles reconhecem que há controvérsias na Filosofia da Ciência, mas estas são inacessíveis, irrelevantes e, provavelmente, inapropriadas para o nível básico (Smith *et al.*, 1997). Apesar disso, tendo em vista os critérios de generalidade, de adequação ao nível de desenvolvimento dos estudantes, e de relevância para suas vidas diárias, um consenso pode ser estabelecido com finalidade educacional. Esse consenso é amparado por pesquisas empíricas com diferentes especialistas, como as realizadas por Osborne e colaboradores (2003)⁷⁹, pela literatura a respeito da temática, bem como por diferentes documentos curriculares oficiais ao redor do mundo. Os adeptos da abordagem consensual justificam, também, que as investigações realizadas em sala de aula revelam o aprendizado, pelos estudantes, dos aspectos desejados – isto é, eles são adequadas ao nível de desenvolvimento dos estudantes (Abd-El-Khalick, 2012b; Bell, 2006; Lederman *et al.*, 2014; McComas *et al.*, 1998b; Schwartz, Lederman, & Abd-El-Khalick, 2012; Smith & Scharmann, 1999).

Ainda que esses autores concordassem que um consenso não pode ser estabelecido, devido às discordâncias atuais no âmbito das metaciências, e pelo fato de que a compreensão relativa à Natureza da Ciência tem mudado e continuará a mudar, inviabilizando o seu ensino, ainda assim restaria o argumento de que “estudantes são ensinados todos os dias sobre ‘NOS’ [Natureza da Ciência] em salas de aula do nível pré-universitário” (Abd-El-Khalick, 2012, p. 355, *itálico do autor*). Para os adeptos da abordagem consensual, é melhor o ensino explícito de uma Natureza da Ciência simplificada, parcial e provisória do que nenhuma discussão sobre ela. Não empreendê-la acarretaria na manutenção de compreensões pouco elaboradas sobre a Natureza da Ciência entre professores e estudantes. Além disso, as simplificações “podem servir como uma fundação voltada para o desenvolvimento de compreensões mais sofisticadas na vida futura” (Osborne *et al.*, 2003, p. 697).

⁷⁹Osborne e colaboradores (2003) investigaram empiricamente quais aspectos sobre a Natureza da Ciência são essenciais para compor o currículo de ciências escolar, segundo o ponto de vista de diferentes especialistas, a saber, cientistas, filósofos, sociólogos, historiadores, educadores e divulgadores de ciência, buscando identificar entre eles a existência de consensos e qual sua extensão. Eles identificaram que uma série de temas foram objeto de concordância por, no mínimo, dois terços dos especialistas e que, dentro desse grupo, vários temas são encontrados em documentos curriculares oficiais de diferentes países. Apesar disso, Osborne e colaboradores (2003) identificaram também que não há concordância sobre como esses temas devem ser comunicados e representados, sendo, assim, ainda uma questão em aberto.

Diante das críticas à forma da abordagem consensual por meio de listas de enunciados sobre a ciência, os autores explicam que as listas visam “fornecer uma organização concisa de ideias e conceitos frequentemente complexos que elas incluem. Cada item em uma lista é somente um rótulo ou símbolo para algo que é muito mais profundo e de elaboração detalhada” (Lederman *et al.*, 2014, p. 987). Segundo eles, muitos documentos curriculares delineiam e especificam o que estudantes devem aprender por meio de listas.

No que diz respeito ao conteúdo da abordagem consensual, as inconsistências apontadas – como, por exemplo, o conhecimento científico ser apontado em um dado momento como provisório e, em outro momento, duradouro – não devem estar em primeiro plano. O que realmente importa, segundo os defensores dessa abordagem, é o fato dos aspectos consensuais serem qualitativamente mais informados e precisos do que aqueles frequentemente enfatizados em livros didáticos, ensinados pela maioria dos professores de ciências e compartilhados pelos estudantes de ciências (Abd-El-Khalick, 2012a).

Apesar disso, os adeptos da abordagem consensual reconhecem problemas em relação a como os enunciados são frequentemente interpretados e usados, como nos casos em que são aceitos acriticamente, considerados como a verdadeira Natureza da Ciência e como instrumentos de memorização (Abd-El-Khalick, 2012b). Mas, nesse contexto, o problema não reside nas listas de enunciados em si, mas na compreensão dos professores acerca da Natureza da Ciência, e na pedagogia adotada para abordá-la.

As implicações da abordagem consensual são respondidas por seus adeptos ao afirmarem que, em nenhum momento, ambicionaram apresentar uma caracterização definitiva e universal para a Natureza da Ciência, de modo que “outros pesquisadores podem incluir ou excluir vários aspectos da Natureza da Ciência, resultando em representações igualmente válidas da Natureza da Ciência, que são didáticas para o desenvolvimento dos aprendizes” (Lederman *et al.*, 2014, p. 973). Em vista disso, o que se pretende com a abordagem consensual é oferecer um corpo de conhecimentos e compreensões essenciais que qualquer consideração da ciência deveria oferecer aos seus estudantes (Osborne *et al.*, 2003). Apesar dessas ponderações, os defensores da abordagem consensual admitem que deve haver um limite para sua extensão: listas longas se tornariam muito acadêmicas, pouco viáveis ou inacessíveis ao nível de formação dos estudantes. Qualquer tentativa de ensinar *todos* os aspectos

sobre a Natureza da Ciência é impraticável – como ocorre com qualquer outro conteúdo didático (Lederman, 2006; Schwartz *et al.*, 2012; Smith & Scharmann, 1999).

A introdução de aspectos controversos nas listas de enunciados – tais como os debates em torno do realismo e antirrealismo científico – foi, por muito tempo, rechaçada pelos adeptos da abordagem consensual. Questões controversas trariam barreiras adicionais, mesmo para professores interessados em aspectos filosóficos: Como encontrariam tempo para ensinar todas essas coisas?; Como tornar inteligível aos estudantes do ensino básico assuntos tão abstratos? (Smith & Scharmann, 1999).

No últimos anos, contudo, o acúmulo de críticas aos efeitos do silenciamento das controvérsias tem resultado, ainda que apenas para uma parcela de seus adeptos, em propostas ampliando o escopo da abordagem consensual. Abd-El-Khalick (2012) propôs que controvérsias fossem incluídas nas discussões sobre a Natureza da Ciência, desde que os consensos fossem mantidos. Em níveis elementares do ensino básico, a Natureza da Ciência seria abordada em termos gerais, simples e não problemáticos. Conforme o estudante avançasse em sua formação, as discussões incorporariam gradativamente aspectos complexos, específico e problemáticos. No Ensino Superior – em especial, na formação de professores – isso culminaria na discussão das controvérsias em torno da Natureza da Ciência. Concomitante a isso, os diferentes aspectos da Natureza da Ciência seriam abordados a fim de destacar suas inter-relações.

Respostas específicas também são direcionadas aos defensores de uma abordagem de domínio específico em detrimento de uma abordagem de domínio geral, envolvendo considerações oriundas de subdisciplinas da Filosofia da Ciência, em particular, da Filosofia da Biologia e da Filosofia da Química. Nesse contexto, o argumento é de que o principal problema das abordagens de domínio específico é que a elas se pode dirigir as mesmas críticas recebidas pelas abordagens de domínio geral. Ou seja, se pode questionar, por exemplo: Qual é a natureza da Química (ou da Biologia)? Qual subdisciplina científica ou contexto seria mais representativo de um dado campo? (Por exemplo, no caso da biologia, a microbiologia seria mais representativa do que a entomologia?) Deve a ciência escolar ensinar somente uma natureza da biologia, ou da química ou da física? (Abd-El-Khalick, 2012a). No entanto, não se deve descartar a incorporação de elementos de uma abordagem de domínio específico às de domínio geral, as quais devem ser encaradas como complementares e sinérgicas. Segundo Abd-El-Khalick (2012a), os conhecimentos resultantes de uma

abordagem de domínio geral devem ser internalizados prioritariamente pelo estudante para, posteriormente, ele ser apresentado a uma abordagem de domínio específico, com o intuito de desenvolver visões mais profundas e contextuais:

[...] os aspectos da atual visão consensual da Natureza da Ciência servem como compreensões fundamentais que podem ser mais bem refinados e matizados por meio de explorações em contextos específicos ao longo de um cuidadoso trabalho contínuo que leva em consideração os níveis de desenvolvimento dos estudantes (Abd-El-Khalick, 2012a, p. 365).

A apresentação das críticas à abordagem consensual, e dos contra-argumentos elaborados por seus adeptos, revelam um intenso debate, especialmente nos últimos anos, em relação a quais conteúdos e visões de ciência pretendemos ensinar por meio do constructo Natureza da Ciência. Essas discussões exemplificam que a temática Natureza da Ciência é um campo em disputa, na qual diferentes perspectivas estão em jogo, fruto de diferentes formações acadêmicas e visões filosóficas, políticas e educacionais dos atores envolvidos. Ainda que haja unanimidade de que a Natureza da Ciência seja um objetivo educacional, necessário para a formação de cidadãos e cidadãs, divergências permeiam as discussões a respeito da melhor forma e dos conteúdos necessários para atingir esse fim.

As críticas dirigidas à visão consensual são, em grande medida, pertinentes, mas não devem ser consideradas como aplicáveis somente a ela. Certamente, propostas alternativas podem padecer dos mesmos problemas apontados para a abordagem consensual. Ainda assim, conhecer as críticas e entender suas implicações pode fomentar tanto novas abordagens quanto preparar os interessados em adotar a abordagem consensual no que diz respeito às possíveis consequências.

Por outro lado, rejeitar a relevância de se discutir *o que* deve ser ensinado, em favor de concentrar os esforços apenas em *como* introduzir tais discussões – argumento defendido abertamente pelos adeptos da abordagem consensual, sob a justificativa de que um consenso pedagógico já foi estabelecido – parece priorizar a hegemonia de um dado referencial. Promover uma discussão contínua sobre a natureza da Natureza da Ciência possibilita a reavaliação e o refinamento contínuo deste constructo que, como os próprios adeptos da abordagem consensual apontam, é provisório, ou seja, sujeito a mudanças de acordo com as discussões realizadas nas metaciências e as novas demandas da pesquisa, educação e sociedade.

2.8. Abordagens alternativas à visão consensual

Nos últimos anos, a intensificação das críticas à abordagem consensual, em especial, a defendida por Lederman e colaboradores, tem fundamentado novas propostas para reconceitualizar o constructo Natureza da Ciência, tanto em relação a sua forma quanto ao seu conteúdo (Allchin, 2011; Dagher & Erduran, 2016; Erduran & Dagher, 2014; Irzik & Nola, 2011, 2014; Martins, 2015; Matthews, 2012).

Matthews (2012) propôs a substituição do termo *Natureza da Ciência* por *Características da Ciência* (*Features of Science*, no original), argumentando que o primeiro transmite uma visão essencialista da ciência. Além disso, Matthews (2012) transformou os enunciados declarativos de Lederman e colaboradores em 7 tópicos ou temas, deixando a questão da demarcação mais aberta e não pressupondo unicidade de interpretação. Assim, as *Características da Ciência* abrangeriam: (1) base empírica; (2) teorias e leis científicas; (3) criatividade; (4) dependência teórica; (5) enraizamento cultural; (6) método científico; e (7) provisoriedade. Vistas em conjunto, essas características abarcam, principalmente, a natureza do conhecimento científico. Por conta disso, Matthews (2012) ampliou seu escopo, de maneira a abranger também os processos, contextos institucionais, sociais e culturais nos quais o conhecimento é produzido, por meio da inclusão dos seguintes tópicos: (8) experimentação; (9) idealização; (10) modelos; (11) valores e questões sociocientíficas; (12) matematização; (13) tecnologia; (14) explicação; (15) visões de mundo e religião; (16) escolha de teorias e racionalidade; (17) feminismo; e (18) realismo e construtivismo. Essas características compõem, em conjunto com os herdados da abordagem consensual, uma lista básica de temas para discussão.

No artigo de Matthews (2012), apenas os tópicos 8 a 10 receberam uma consideração breve a respeito de sua importância, como, por exemplo, a justificativa de que os modelos são uma característica da ciência devido ao seu amplo uso na história e na prática atual da ciência. Os demais (11 a 18) são sugeridos como possíveis temas para a ampliação da lista. Matthews (2012) sugeriu que esses temas sejam elaborados, discutidos e investigados no Ensino de Ciências, tomando como referência qualquer livro introdutório de História e Filosofia da Ciência para o ensino.

Matthews (2012) argumentou que sua proposta adota uma perspectiva mais flexível, contextual e heterogênea das ciências. A flexibilidade é contemplada na medida em que não utiliza enunciados declarativos para afirmar o que é ciência e

como ela funciona. No entanto, suas considerações não permitem corroborar que ela seja mais contextual e heterogênea e, nesse sentido, pode ser considerada generalista, tal como a abordagem consensual. Nota-se, ainda, uma ênfase significativa em aspectos epistemológicos do conhecimento científico, com uma inclusão ainda pequena de contextos institucionais, sociais e culturais.

Embora Matthews (2012) tenha dado boas razões para ampliar os aspectos sobre a ciência, por outro lado, nenhuma razão explícita foi apresentada para selecionar certas características específicas da ciência em detrimento de outras. Além disso, o conjunto de características não apresenta coerência entre si, incluindo tanto aspectos epistêmicos da ciência (explicação, escolha entre teorias e racionalidade) quanto posições filosóficas (feminismo, realismo e construtivismo). Não há, portanto, uma articulação entre as características individuais, no sentido de congregarem temas mais amplos e coerentes (Erduran & Dagher, 2014).

Diferentemente de Matthews (2012), Allchin (2011) propôs uma ruptura mais radical em relação à abordagem consensual, por meio de sua proposta chamada de *Ciência Integral*⁸⁰ (*Whole Science*, no original), cujo intuito seria fomentar, entre os estudantes, habilidades interpretativas a respeito da confiabilidade ou credibilidade das afirmações científicas no âmbito da tomada de decisões pessoais e públicas. A partir disso, Allchin (2011) adotou como fio condutor um conjunto de dimensões a respeito da confiabilidade na prática científica: como a prática científica contribui para legitimar sua credibilidade; a pluralidade de métodos que conduzem a afirmações confiáveis, bem como seus limites; a incerteza e as possíveis fontes de erro da prática científica. Além desses aspectos, Allchin (2011) acrescentou outros, referentes à interação social dos cientistas (os sistemas de avaliação e crítica mútua), bem como o papel dos investimentos na ciência, motivações, revisão por pares, vieses cognitivos, fraudes e a validação de novos métodos. Segundo Allchin (2011), incluir todos esses aspectos na formação dos estudantes poderia torná-los cidadãos

aptos a (no mínimo) interagir com especialistas sobre tópicos dos quais eles podem conhecer quase nada; reconhecer evidências relevantes, bem como a apresentação de falsas evidências; avaliar os limites, bem como os fundamentos de afirmações científicas emergentes; e negociar através da incerteza científica (Allchin, 2011, p. 522).

⁸⁰Essa tradução acompanha a comparação feita por Allchin (2011) com alimentos integrais (no original, *whole food*), entendidos como alimentos não processados e não refinados, ou processados e refinados o mínimo possível. Nas palavras do autor: “A Ciência Integral, como o alimento integral, não exclui ingredientes essenciais” (Allchin, 2011, p. 524).

Para sumarizar sua proposta, Allchin (2011) apresentou uma lista de dimensões de confiabilidade na ciência, considerada por ele como um inventário completo de características significativas da Natureza da Ciência, reunindo itens apresentados em outras listas e acrescentando novos. Além disso, Allchin (2011) indicou, para a maioria dos itens, estudos de caso contemporâneos e históricos que podem promover discussões e aprendizado. Sua lista, apresentada no Quadro 4, pode servir como uma lista de controle curricular, pela qual se poderia verificar os itens que foram contemplados ou não.

Quadro 4 – Dimensões de confiabilidade na Ciência

Dimensão de confiabilidade	Itens da dimensão
1. Observações e raciocínio	<ul style="list-style-type: none"> • Relevância da evidência • Papel do estudo sistemático ou observação (<i>versus</i> anedota) • Abrangência da evidência • Robustez (concordância entre diferentes tipos de dados) • Papel da probabilidade na inferência • Explicações alternativas • Informação verificável <i>versus</i> valores
2. Métodos de investigação	<ul style="list-style-type: none"> • Experimento controlado (uma variável) • Estudos cego e duplo-cego • Análise estatística do erro • Replicação e tamanho da amostra • Correlação <i>versus</i> causalidade
3. História e criatividade	<ul style="list-style-type: none"> • Consiliência (convergência ou concordância) com a evidência estabelecida • Papel da analogia, pensamento interdisciplinar • Mudança conceitual • Erro e incerteza • Papel da imaginação e síntese criativa
4. O contexto humano	<ul style="list-style-type: none"> • Espectro de motivações para fazer ciência • Espectro de personalidades humanas na ciência
5. Cultura	<ul style="list-style-type: none"> • Papel das crenças culturais (ideologia, religião, etc.) • Papel do viés de gênero • Papel do viés de classe ou racial
6. Interações sociais entre cientistas	<ul style="list-style-type: none"> • Colaboração ou competição entre cientistas • Formas de persuasão • Credibilidade • Revisão por pares • Limites de perspectivas teóricas alternativas e da crítica • Resolução de divergências • Liberdade acadêmica

7. <i>Processos cognitivos</i>	• Viés de confirmação/papel de crenças prévias
	• Percepções de risco emocionais <i>versus</i> percepções de risco baseadas em evidências
8. <i>Aspectos econômicos/financiamento</i>	• Fontes de financiamento
	• Conflito de interesse pessoal
9. <i>Instrumentação & práticas experimentais</i>	• Novos instrumentos e sua validação
	• Modelos e organismos modelo
	• Éticas da experimentação em humanos
10. <i>Comunicação e transmissão de conhecimento</i>	• Normas de manipulação de dados científicos
	• Natureza dos gráficos
	• Credibilidade de vários periódicos científicos e meios de comunicação
	• Fraude e outras formas de má conduta
	• Responsabilidade social dos cientistas

Fonte: Adaptado de Allchin (2011, p. 525).

A proposta de Allchin (2011) amplia o escopo da abordagem consensual, atribuindo maior importância a aspectos oriundos da Sociologia da Ciência e da Psicologia da Ciência (vide Dimensões 4, 5, 6, 7 e 8). Contudo, nenhuma consideração é feita sobre cada uma das dimensões, os itens que as constituem e as relações entre as diferentes dimensões. Tampouco Allchin (2011) explica como articular as diferentes dimensões tendo em vista a finalidade de discutir a confiabilidade na Ciência, limitando-se a apontar estudos de caso que ilustram uma parcela dos itens expostos no Quadro 4.

Se na abordagem consensual as compreensões de ciência são fechadas devido ao formato dos enunciados declarativos, na abordagem de Allchin (2011) se adota uma perspectiva aberta, que não afirma, explicitamente, o que é ciência e como ela funciona. Ainda assim, implicitamente se diz algo a respeito quando se destaca como importante, por exemplo, o papel de crenças culturais. Não se diz em qual extensão e em quais momentos isso influencia a ciência e o fazer científico, mas a inclusão desse aspecto sugere que a influência de fatores externos deve ser considerada nas análises sobre a ciência.

O educador brasileiro André Ferrer Martins (2015) também renunciou aos enunciados declarativos ou princípios em favor de uma proposta baseada em temas – semelhantes aos itens do Quadro 4 – e questões sobre a Natureza da Ciência. Tendo como referencial Driver e colaboradores (1996), Martins (2015) estabeleceu

dois eixos, *eixo histórico e sociológico* e *eixo epistemológico*, inter-relacionados entre si, nos quais os temas podem ser localizados, como mostra o Quadro 5.

Quadro 5 – Eixos para a discussão de conteúdos da Natureza da Ciência e exemplos de temas

Eixo histórico e sociológico	Eixo epistemológico		
	<i>Problema da origem do conhecimento (científico)</i>	<i>Métodos, procedimentos e processos da ciência</i>	<i>Conteúdo / Natureza do conhecimento científico</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Papel dos indivíduos/sujeitos e da comunidade científica • Intersubjetividade • Influências históricas e sociais • Questões morais, éticas e políticas • A ciência como parte de uma cultura mais ampla • Objetivos da ciência / objetivos dos cientistas • Comunicação do conhecimento científico dentro da comunidade científica e em domínio público • Controvérsias históricas e contemporâneas na ciência • Ciência e outros tipos de conhecimento • Ciência e tecnologia • {<i>Diferenças entre as áreas / disciplinas científicas</i>} 	<ul style="list-style-type: none"> • Sujeito(s) e objeto(s) do conhecimento científico • Empírico vs. teórico • Papel da observação, experimentação, lógica, argumentos racionais e pensamento teórico • Influências teóricas sobre observações e experiências • Ciência e outros tipos de conhecimento • {<i>Diferenças entre as áreas / disciplinas científicas</i>} 	<ul style="list-style-type: none"> • Coleta, interpretação e avaliação dos dados • Modelagem • Observação e inferências • Hipóteses, previsões e testes • Correlação e causalidade • Natureza da explicação em ciência • Avaliação de teorias • Papel das analogias, imaginação e criatividade • Visão do senso comum sobre o método científico (sequência passo-a-passo) • Ciência e outros tipos de conhecimento • {<i>Diferenças entre as áreas / disciplinas científicas</i>} 	<ul style="list-style-type: none"> • Leis e teorias • Postulados • Noção de modelo científico • Papel da matemática • Poder e limitação do conhecimento científico • Ciência e outros tipos de conhecimento • Ciência e tecnologia • {<i>Diferenças entre as áreas / disciplinas científicas</i>}

Fonte: Martins (2015, p. 719).

Os temas contemplam, em maior medida, aspectos ausentes na abordagem consensual, e buscam maior equilíbrio entre aspectos epistemológicos e histórico-sociológicos. Além disso, os temas podem ser explorados sob a perspectiva de uma disciplina científica particular, dando maior pluralidade e heterogeneidade à abordagem. Contudo, para que isso se concretize, consideramos necessária uma

reflexão prévia sobre os aspectos sociológicos, históricos e epistemológicos da disciplina em questão.

Os temas também podem ser discutidos a partir de questões, que permitem esclarecer o significado do tema e especificar o que pode ser explorado em seu âmbito. Martins (2015) sugeriu questões para todos os temas indicados no Quadro 5, exceto para *{Diferenças entre as áreas / disciplinas científicas}*, cujo objetivo é abrir a possibilidade de se trabalhar os temas indicados em cada eixo sob a perspectiva de uma área ou disciplina científica particular. Diante da extensão dos temas e questões, apresentamos aqui somente um tema de cada eixo e suas questões, considerados como representativos da proposta:

- Papel dos indivíduos/sujeitos e da comunidade científica (eixo histórico e sociológico): Os cientistas trabalham isoladamente? O conhecimento científico é construído socialmente? Qual o papel do indivíduo? As “descobertas” são individuais ou coletivas? Que episódios históricos reforçam a ideia de trabalho individual ou a do grupo? Ao longo da história da ciência isso mudou?

- Empírico vs. teórico (eixo epistemológico): A experiência é a base para a construção do conhecimento científico? Qual o papel do pensamento teórico na construção do conhecimento científico? O que vem em primeiro lugar, ou é mais importante: teoria ou experiência? Há “descobertas” sem conhecimentos teóricos prévios? É possível construir teorias sem uma base experimental?

De modo análogo a Matthews (2012), o educador brasileiro descreve que o emprego de questões para cada um dos temas prioriza o caráter investigativo da Natureza da Ciência. De nosso ponto de vista, enquanto o(s) tema(s) ajuda(m) a estruturar a aula, as questões conduzem a aula e podem ser dirigidas explicitamente aos estudantes. Por outro lado, a flexibilidade dessa abordagem gera algumas indagações em tom de desafios ou obstáculos: Onde e como os professores interessados em promover tais discussões se fundamentarão tanto a respeito dos temas quanto das possíveis respostas às questões associadas a eles? Dado que são possíveis diferentes respostas às questões, conforme o repertório prévio de cada estudante, como lidar com essas diferentes perspectivas? Como não se delimitam quais compreensões devem ser comunicadas, o que caracteriza as abordagens abertas, existe a possibilidade de o professor se ver diante de uma diversidade de compreensões. Em certa medida, Martins (2015) se mostra ciente dessas ponderações:

Vemos aqui os campos da História, da Filosofia e da Sociologia da ciência *alimentando* a discussão em torno desses eixos, temas e questões. Sem um conhecimento mínimo razoável desses campos, o detalhamento desses temas, assim como as discussões sobre aquelas questões, pode não significar muita coisa e virar uma tarefa inócua. Pior do que isso, pode resultar numa lista de afirmações dogmáticas que misture diversas visões e não se torne operacional, sendo desprezada no futuro – e na prática – por professores de ciência nas escolas (Martins, 2015, p. 730).

Esse esclarecimento não resolve as dificuldades apontadas, pois é necessário articular os eixos, temas e questões com as metaciências⁸¹.

Por fim, delineamos a *abordagem por semelhança de família* (*family resemblance approach*, no original) para a Natureza da Ciência, influenciada pelo conceito de *semelhança de família* tal como proposto pelo filósofo Ludwig Wittgenstein (1889-1951). A abordagem foi concebida, inicialmente, pelos filósofos Irzik e Nola (2011, 2014)⁸² e, posteriormente, foi criticada, reformulada, ampliada e direcionada ao Ensino de Ciências pelas educadoras Erduran e Dagher. A proposta foi divulgada, primeiro, na forma de um livro (Erduran & Dagher, 2014) e, depois, em um artigo (Dagher & Erduran, 2016). Concentraremos nossas considerações na primeira referência, devido a seu maior detalhamento.

De acordo com o conceito de semelhança de família, quando consideramos diferentes ciências, algumas características são compartilhadas em grande extensão por várias ciências, outras são compartilhadas em menor extensão e algumas não são compartilhadas. Por consequência, nesses termos, o estatuto científico de diferentes disciplinas repousaria na identificação de características de semelhança de família, ou seja, uma disciplina não seria avaliada por um único conjunto de características para ser considerada científica, tal como sugerem as listas de aspectos consensuais da Natureza da Ciência, mas por um agregado de noções relacionadas. Estas noções resultariam da investigação das similaridades e diferenças que cada ciência possui em relação às demais, de maneira a se construir um conjunto de características para cada ciência em particular.

⁸¹Parte de nossas críticas vão além do objetivo do autor, que destaca que sua intenção não é abordar *como* ensinar, mas apenas *o que* ensinar.

⁸²As propostas de Matthews (2012) e Martins (2015) foram influenciadas, em maior ou menor grau, pelas críticas de Irzik e Nola à abordagem consensual e pela proposta alternativa formulada por estes dois filósofos.

A partir disso, Irzik & Nola (2014) propuseram a abordagem por semelhança de família para a Natureza da Ciência, cujo intuito é sistematizar e unificar os aspectos da Natureza da Ciência, porém sem a pretensão de identificar possíveis características candidatas a definirem a ciência, como pretendem as abordagens essencialistas. Ao contrário, a abordagem por semelhança de família almeja contemplar a complexidade da ciência e de suas disciplinas particulares, por meio da compreensão de que “existe um número de similaridades, entrecruzamentos, sobreposições entre essas disciplinas científicas, que lhes dão unidade suficiente” (Irzik & Nola, 2011, p. 596).

Erduran e Dagher (2014) conservaram e atribuíram centralidade à concepção de unidade da ciência através da diversidade. A partir dessa orientação, os campos da ciência são caracterizados por meio de dois sistemas amplos, sendo que cada um deles apresenta um conjunto de categorias. A organização toma como critério uma classe de ideias que se aproximam por características em comum, diferentemente da visão consensual, que se baseia em ideias individuais. Além disso, de maneira semelhante à proposta de Martins (2015), as autoras apontam questões específicas, ainda que em número reduzido, para todos os aspectos. O Quadro 6 sumariza os dois sistemas amplos e suas categorias, descritos em detalhes por Erduran e Dagher (2014).

Quadro 6 – Abordagem por semelhança de família para a Natureza da Ciência

Sistema	Categoria	Questões
<i>Ciência como um sistema cognitivo-epistêmico</i>	1) Objetivos e valores: Conjunto de objetivos que os produtos da atividade científica desejam atingir. Por exemplo, objetivos e valores podem ser previsão, explicação, consistência, simplicidade, fecundidade, etc.	Quais são os objetivos e valores da ciência? Como eles guiam a prática científica e a escolha de teorias? Como os valores influenciam o crescimento do conhecimento científico?
	2) Prática científicas: Atividades familiares aos cientistas, como levantar questões, fazer observações, reunir e classificar dados, projetar experimentos, formular hipóteses, construir teorias e modelos, comparar teorias alternativas e modelos.	Quais são as práticas epistêmicas, cognitivas e sociais chaves da ciência? Como essas práticas são geradas, avaliadas e revisadas?
	3) Métodos e regras metodológicas: Refere-se à variedade de abordagens sistemáticas e regras que cientistas usam para garantir a produção de conhecimento confiável. Os métodos podem ser estratégias indutivas, dedutivas, abduativas, enquanto as regras podem ser enunciados tais	Quais métodos são mais adequados para investigar problemas científicos em diferentes domínios?

	como: “entre duas teorias rivais, opta-se pela que tem maior poder explicativo”.	
	4) Conhecimento científico: Compreende os produtos finais da atividade científicas, tais como leis, teorias, modelos, bem como a reunião de relatos observacionais e dados experimentais.	Quais são os diferentes produtos da ciência? Como essas formas de conhecimento se relacionam? Como elas são produzidas? Qual papel elas desempenham no desenvolvimento das afirmações científicas? Existem variações disciplinares nas teorias, leis e modelos? Qual é a relação de explicação para teorias, leis e modelos? Por que é útil para os estudantes compreenderem as várias formas do conhecimento científico?
Ciência como um sistema social-institucional	5) Atividades profissionais: Atividades que os cientistas realizam com o objetivo de comunicar suas pesquisas, tais como participar de congressos, escrever artigos e desenvolver projetos para obter financiamento para a sua pesquisa.	Quais fatores políticos, econômicos e sociológicos dirigem o empreendimento científico? Como cientistas e comunidades de cientistas são influenciadas por esses fatores?
	6) <i>Ethos</i> científico: Conjunto de normas seguidas pelo cientista em seu trabalho e na interação com os pares. As normas podem ser as mertonianas, como universalismo, ceticismo, desinteresse, bem como normas éticas.	
	7) Certificação social e disseminação do conhecimento científico: diz respeito ao processo de revisão por pares.	
	8) Valores sociais: Corresponde a valores como liberdade, respeito ao ambiente e utilidade social no sentido de melhorar a saúde e bem-estar da população, bem como contribuir para o desenvolvimento econômico.	
	9) Organizações sociais e interações: Cientistas trabalham em instituições como universidades, centros de pesquisa e indústrias, que são socialmente organizados. Em cada um deles, há uma hierarquia organizacional que dita a natureza das interações sociais.	
	10) Estrutura de poder político: Ciência pode ser, também, uma ferramenta de opressão e exploração.	
11) Sistemas de financiamento: As ações dos cientistas e a distribuição de recursos na ciência são mediadas pelas forças econômicas. Isso, por sua vez, influencia a natureza da pesquisa científica.		

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Erduran e Dagher (2014)⁸³.

Segundo as autoras, o alto nível de organização é a força da abordagem por semelhança de família, além da flexibilidade para se explorar um dado aspecto sobre a ciência de acordo o contexto e objetivos pretendidos. Diferentemente das ideias individuais da visão consensual, a abordagem por semelhança de família permite compreender como os vários aspectos que caracterizam a ciência estão relacionados entre si (Erduran & Dagher, 2014).

As categorias não são entidades independentes, mas são complementares no sentido de que elas têm alvos diferentes das dimensões do empreendimento científico. Por exemplo, ao estipular o objetivo da pesquisa que será realizada (Categoria 1), questões e hipóteses serão formuladas (Categoria 2), cuja avaliação mobilizará metodologias e métodos específicos (Categoria 3), que, por sua vez, resultarão num conjunto de resultados científicos (Categoria 4). Todos esses aspectos encontram-se relacionados, ainda que se refiram a diferentes dimensões da atividade científica. Além disso, alguns componentes perpassam diferentes domínios, como, por exemplo, o *ethos* científico (Categoria 6) que está presente, conscientemente ou não, na escolha da pesquisa (Categoria 1) e na divulgação de seus resultados (Categoria 5). Entretanto, dada a complexidade do empreendimento científico, pode ser vantajoso desconectar alguns desses componentes, visando ganhar clareza na exposição (Erduran & Dagher, 2014).

As autoras argumentam que sua proposta visa ser descritiva e não normativa da ciência. A abordagem por semelhança de família adota uma posição filosófica neutra; mesmo tendo sido construída a partir de uma posição filosófica, a proposta não explicita isso. Não obstante, essa abordagem incorpora muitos dos aspectos sobre a ciência contemplados por outros referenciais da Natureza da Ciência (Erduran & Dagher, 2014).

⁸³A respeito das modificações e acréscimos à proposta de Irzik e Nola (2014), primeiramente, destaca-se que os termos “atividades” e “processos” foram substituídos por “práticas”, com o intuito de se distanciar de possíveis interpretações que as identificam com as habilidades processuais da ciência, bem conhecidas no Ensino de Ciências. Além disso, Erduran e Dagher (2014) acrescentaram três novas categorias (organizações sociais e interações, estruturas do poder político, e sistemas de financiamento) no sistema social-institucional, pois Irzik e Nola (2014) não reconheceram explicitamente os aspectos políticos da ciência. Há, ainda, uma modificação na ordem em que as categorias são apresentadas, começando por “objetivos e valores”, pois destes depende como os aspectos subsequentes são concebidos (Erduran & Dagher, 2014).

Erduran e Dagher (2014) esclareceram, ainda, que não pretendem que os currículos incluam todas as categorias, mas que as questões sejam selecionadas de acordo com o que está sendo estudado. No âmbito de aplicação em sala de aula, as autoras apontaram para a necessidade de traduzir as categorias de maneira a contemplar seus diferentes componentes no planejamento das unidades de ensino, estruturando-as em níveis ascendentes de complexidade ao longo da educação básica. As discussões em sala de aula devem ser conduzidas a partir dos conceitos científicos em pauta, estabelecendo contextos de ensino-aprendizagem nos quais os estudantes possam levantar questões que se conectem com atividades, métodos e conhecimentos que eles já utilizaram e produziram. O tempo despendido em cada categoria depende de sua relevância para o contexto estudado, e o conteúdo depende do nível de ensino e unidade de ensino.

A apresentação de diferentes perspectivas sobre a ciência (epistêmica, cognitiva, social e institucional) pode, provavelmente, motivar uma ampla faixa de estudantes. Por exemplo, um grupo de estudantes pode ser atraído pelas discussões referentes às práticas epistêmicas da ciência, enquanto outro grupo pode se interessar pelas dimensões sociais e políticas do empreendimento científico (Erduran & Dagher, 2014).

Erduran e Dagher (2014) construíram também uma ferramenta visual, chamada por elas de “roda da abordagem por semelhança por família”. Seu objetivo é ajudar os professores e estudantes a atribuírem sentido à ciência através de um modelo organizado, facilitando seu ensino e aprendizagem. Além disso, a “roda” também pode servir como ferramenta metacognitiva para analisar, avaliar ou refletir sobre materiais ou políticas curriculares, a fim de identificar se e como os diferentes aspectos são abordados, e ajudar a desenvolver e incorporar eventuais aspectos não contemplados. A “roda” não pretende ser uma imagem completa da ciência, mas um instrumento para ampliar as perspectivas e proporcionar uma melhor imagem sobre a ciência.

Figura 1 – Roda da abordagem por semelhança de família para a Natureza da Ciência



Fonte: Erduran e Dagher (2014, p. 28).

Na representação reproduzida na Figura 1, a *Ciência como um sistema cognitivo-epistêmico* ocupa, com suas quatro categorias, os quatro quadrantes internos; a *Ciência como um sistema social-institucional* divide-se, primeiramente, em quatro categorias, que ocupam os quatro quadrantes circundando os quadrantes internos; as últimas três categorias desse sistema, consideradas mais amplas, constituem o círculo mais externo que envolve os demais (Erduran & Dagher, 2014).

Esses componentes não devem ser vistos de maneira estanque, mas fluindo em todas as direções. Segundo as autoras, essa representação visual mostra como todos os componentes dos sistemas cognitivo-epistêmico e social-institucional interagem uns com os outros, influenciando a atividade científica (Erduran & Dagher, 2014).

Erduran e Dagher (2014) indicaram, por fim, uma série de limitações da abordagem por semelhança de família para a Natureza da Ciência:

- *Aproximação*: A abordagem precisa de amparo empírico para avaliar aspectos de ensino e aprendizagem, bem como avaliar as razões teóricas de seu emprego;
- *Ontologia*: Baseia-se em dimensões cognitivas, epistêmicas e sociais-institucionais, mas não inclui questões ontológicas;
- *Metafísica*: Suposições metafísicas, tais como os princípios da uniformidade da natureza e da causalidade, não são explicitadas e diretamente tratadas pela abordagem;

➤ *Abordagem aberta*: Embora tenha sido apresentada como um aspecto positivo, é possível que extensões das características da ciência feitas por outros autores possam não ter sido previstas ou, ainda, não serem endossadas pelos criadores. Assim, uma abordagem aberta pode ser tanto uma ferramenta de exploração quanto de distorção;

➤ *Aplicação*: A variedade de categorias pressupõe uma boa compreensão dos estudos culturais da ciência. Além disso, demanda pesquisa cuidadosa para a seleção de materiais suplementares (tais como estudos de caso históricos), que são específicos para o conteúdo tratado;

➤ *Percepção de objetivos em competição*: As categorias não devem competir entre si, nem se deve priorizar uma em detrimento de outras, mas apresentadas de maneira holística. Um uso ótimo da abordagem por semelhança de família se baseia principalmente em sua integração com os conteúdos científicos centrais. São esses conteúdos que fornecem o contexto para a reflexão.

Além desses problemas e dificuldades apontados por Erduran e Dagher (2014), podemos acrescentar mais alguns. Primeiramente, não há um rigor em estabelecer o significado das categorias *Ciência como um sistema cognitivo-epistêmico* e *Ciência como um sistema social-institucional*. Qual o significado de cognitivo? Qual o significado de epistêmico? Qual a relação entre eles e o motivo de sua fusão em um único sistema? O que é social? O que é institucional? Qual a relação entre eles, e o motivo de sua fusão? Em seus trabalhos, as autoras adotam a estratégia de exemplificar as categorias constituintes para indicar a compreensão que pretendem para os dois grandes sistemas.

Diferentemente de Irzik e Nola (2011, 2014), que comunicaram sua proposta para a Natureza da Ciência na forma de artigos, o que limita a profundidade da descrição e esclarecimentos, Erduran e Dagher (2014) comunicaram sua proposta em um extenso livro. Ainda assim, as autoras “herdaram” problemas da proposta de Irzik e Nola (2011, 2014), sem lograr resolvê-los. Por exemplo, Erduran e Dagher (2014) reconheceram que Irzik e Nola não discutem o que entendem por “institucional”, mas elas próprias tampouco apresentam uma fundamentação para esse conceito. Reconhecemos, porém, que a complexidade da proposta acarreta problemas dessa natureza, e torna inevitável que outros olhares identifiquem problemas de fundamentação, argumentação e apresentação.

Em linhas gerais, as propostas delineadas neste capítulo se caracterizam por um grau ascendente de complexidade, identificado pela ampliação de aspectos a serem considerados no ensino sobre a Natureza da Ciência. As propostas se caracterizam, também, por se deslocarem de abordagens mais fechadas e restritivas em direção a abordagens mais amplas e abertas para a Natureza da Ciência, que focalizam temas, tópicos e questões mais do que afirmações categóricas e explícitas sobre a ciência. Cada proposta apresenta vieses, potencialidades e limitações metacientíficas (o que cada proposta contempla sobre o que é ciência, e como ela funciona) e educacionais (o que os aspectos contemplados exigem para serem ensinados e aprendidos, bem como qual formação para os cidadãos e cidadãs se pretende).

As propostas aqui descritas, bem como qualquer outra já apresentada na literatura, ou a ser elaborada futuramente, implicam na instrumentalização dos que pretendem promover discussões sobre a Natureza da Ciência com base em um dado referencial e de acordo com certos objetivos. As propostas que apresentam maior complexidade e natureza aberta, se comparadas à abordagem consensual, parecem exigir maior preparação por parte dos professores – ainda que não tenhamos amparo empírico para essa afirmação.

Contudo, mesmo que adotemos um dado referencial para instrumentalizar os professores, um aspecto em especial permanece problemático para as propostas que propõem o trânsito entre domínio geral e domínio específico. Dado que essas propostas somente sugerem que seus temas ou categorias sejam abordados de acordo com diferentes perspectivas disciplinares, sem explicitar os elementos que constituem tais perspectivas nem como articulá-las com o referencial delineado, conserva-se, assim, uma natureza de domínio geral, e delega-se aos interessados a tarefa de estabelecer os elos com o domínio específico. Essa articulação só pode ser realizada com o auxílio das metaciências de disciplinas particulares. No caso de educadores em química, é necessário recorrer às metaciências História, Filosofia e Sociologia da Química. A primeira é um campo consolidado; a segunda se consolidou nas últimas duas a três décadas; e a terceira (ainda?) não se configurou como um campo próprio. Diante disso, faz-se necessário alimentar o constructo Natureza da Ciência com as metaciências específicas de que dispomos atualmente, considerando que nosso objetivo é destacar os vieses peculiares da disciplina de Química.

CAPÍTULO 3 – FILOSOFIA DA QUÍMICA E O FILOSOFAR SOBRE A QUÍMICA

3.1. Breve histórico da Filosofia da Química

A consolidação de um projeto voltado à seleção de aspectos das metaciências dedicadas a investigar, analisar e refletir sobre a Química, direcionados à concepção do constructo Natureza da Ciência considerando os vieses próprios dessa disciplina, enfrentou dificuldades ao longo da segunda metade do século XX, por conta do estatuto das metaciências que se ocupam da Química. Enquanto a História da Química, ao longo da segunda metade do século XX, era já uma subárea consolidada na História da Ciência, apresentando sociedades, congressos, periódicos⁸⁴ e publicações próprias (Russell, 1985; Russell & Roberts, 2005), a Filosofia da Química só começou a gozar desse estatuto a partir da década de 1990.

A maturidade da História da Química se refletiu, por exemplo, em defesas de suas contribuições ao Ensino de Química, que remontam à segunda metade do século XX. Entretanto, a importância de questões filosóficas próprias da Química para o ensino, como veremos na próxima seção, somente ganhariam espaço substancial nas duas últimas décadas (Chamizo, 2013; Erduran, 2001).

Ao longo do século XX, assuntos, questões, problemas e conceitos relacionados à Química atraíram pouca atenção do ponto de vista filosófico. Poucos foram os filósofos da ciência que se debruçaram sobre a Química em extensão e profundidade. O francês Gaston Bachelard (1884 – 1962) é, certamente, o mais conhecido pela comunidade de educadores, recorrendo à história da Química para tecer suas considerações epistemológicas sobre a ciência em geral (Bachelard, 2008 [1938]⁸⁵) e sobre a própria Química (Bachelard, 2009 [1932]). Contudo, trabalhos como os produzidos por Bachelard constituem exceção na área de Filosofia da Ciência, sendo escassa a literatura que investiga os problemas filosóficos da Química (Scerri & McIntyre, 1997).

⁸⁴Podemos identificar sociedades que remontam à primeira metade do século XX, como *The Society for the History of Alchemy and Chemistry*, criada em 1935, cujo primeiro presidente foi o químico e historiador da ciência britânico James Riddick Partington (1886-1965). No ano seguinte, essa sociedade começou a realizar encontros e, em 1937, passou a publicar o periódico *Ambix*, voltado a todas as áreas relacionadas à História da Alquimia e da Química.

⁸⁵As datas em colchetes identificam o ano de publicação da respectiva primeira edição francesa.

Essa condição foi motivada, em parte, pela atribuição de um estatuto reducionista da Química em relação à Física. De acordo com esse ponto de vista, os fenômenos estudados pela Química seriam, em última instância, de natureza física, e portanto passíveis de serem compreendidos pelas teorias físicas. Como consequência, prevaleceu também a concepção de que os problemas filosóficos da Química poderiam, em última instância, ser tratados pela Filosofia da Física⁸⁶ (Labarca, 2010; Scerri & McIntyre, 1997; Schummer, 2006).

Os assuntos, ênfases e interesses da Filosofia da Ciência, ao longo do século XX, revelam que a Química foi considerada pouco fecunda para as pretensões dos filósofos da ciência. Na primeira metade do século XX, predominou a análise lógica, os conhecimentos de natureza *a priori* e axiomática. Em boa parte do século se desprezou a prática científica, que só nas últimas décadas do século passado adquiriu maior importância na Filosofia da Ciência. Outras características do período foram a ênfase no papel da explicação e não na intervenção, e o foco na ciência ideal (normativa), em prejuízo da ciência real (descritiva) – o que ajuda a explicar porque as práticas científicas, as imagens, os instrumentos, o laboratório, os valores e o contexto da descoberta foram negligenciados (Ribeiro, Pereira, & Barreto, 2011). As considerações dos filósofos da ciência desse período, em linhas gerais, tomaram a Física e sua história como modelo para constituir o que é a ciência e como ela funciona e, a partir disso, estabelecer critérios de demarcação entre ciência e não ciência.

Embora importante para compreender a pouca atenção dedicada às análises filosóficas da Química, o reducionismo – tema de discussão da própria Filosofia da Ciência – foi apenas um dos fatores em meio à multiplicidade de razões envolvidas. A própria representação que os químicos têm das atividades dos filósofos, e vice-versa, revela um mútuo desprezo ou, no mínimo, indiferença, como relata Scerri (2000b), ainda que em tom de caricatura:

Eu penso que é razoável dizer que químicos e filósofos tradicionalmente consideram um ao outro com certa desconfiança e, em alguns casos, talvez até com um pouco de desprezo. Os químicos sentem, e com razão, orgulho no fato de que eles se envolvem no mundo dos fenômenos através de experimentos e estão dispostos a rever suas teorias e práticas quando necessário. Para os químicos, o filósofo – que não conduz nenhum tipo de experimento – não é digno de grande consideração. A partir da perspectiva científica, visões filosóficas não parecem muito dinâmicas, uma vez que elas

⁸⁶Para uma discussão detalhada a respeito de como a Filosofia da Ciência negligenciou a Química por muito tempo, vide o primeiro capítulo de Rozentaliski (2013).

resultam, muitas vezes, de doutrinas filosóficas bem estabelecidas ou crenças *a priori* sobre o modo como o mundo deve ser. Os filósofos, por sua vez, são orgulhosos de sua formação pautada em um modo rigoroso de pensar. Eles admitem abertamente que não se envolvem nos detalhes impuros do mundo experimental, porque tal atividade pode limitar a generalidade de suas afirmações e suas tentativas de representar a realidade em termos mais amplos. Alguns deles podem, até mesmo, desprezar secretamente os químicos por tomarem modelos científicos literalmente, por serem realistas ingênuos, e talvez – usando alguns rótulos pejorativos bem conhecidos – por serem “colecionadores de selos” e “aquecedores de panelas” (Scerri, 2000a, p. 1).

Ainda que os químicos possam argumentar que os aspectos filosóficos são dispensáveis em suas atividades, os elos entre Química e Filosofia não são apenas possíveis, mas necessários. Motivados para estabelecer relações frutíferas entre esses dois campos, em meados da década de 1980 e início da década de 1990 um grupo de químicos, educadores, filósofos e historiadores da Química começaram a defender a importância de se discutir questões filosóficas relacionados à disciplina de Química. Esse grupo argumentava que existem problemas filosóficos próprios da Química que não são redutíveis à Filosofia da Física, e que as reflexões sobre tais problemas deveriam ser originados *pela e por meio da* própria Química. As seguintes citações são representativas dessa linha de argumentação:

A Química, por sua própria natureza, envolve explicações muito mais específicas que no caso da Física, dada a ampla variedade de substâncias existentes e a grande diversidade de reações que elas propiciam (Labarca, Bejarano, & Eichler, 2013, p. 1263).

A Química é uma ciência preocupada com critérios classificatórios e dirigida por raciocínio prático. Ela usa o pensamento diagramático, simbólico, relacional, procedimental e heurístico, e é influenciada por valores estéticos, especialmente aqueles de criação e inovação. A Química é dependente de muitos instrumentos e técnicas (Ribeiro & Pereira, 2013, p. 1832).

Esse movimento culminaria na institucionalização da disciplina de Filosofia da Química em meados da década de 1990, período no qual ela se estabeleceu como uma subárea da Filosofia da Ciência. Esse processo de institucionalização foi marcado, em 1997, pela fundação da *International Society for the Philosophy of Chemistry* (ISPC), que, a partir desse mesmo ano, começou a organizar simpósios

anuais⁸⁷; e pelo surgimento de dois periódicos especializados: *Hyle*⁸⁸ – *International Journal for Philosophy of Chemistry*; e *Foundations of Chemistry – Philosophical, Historical and Interdisciplinary Studies of Chemistry*, periódico oficial da ISPC.

A *Hyle*, criada em 1995 e cujo editor é Joachim Schummer, se dedica a todos os aspectos filosóficos da Química e seus subcampos: epistemológicos, metodológicos, fundacionais e ontológicos da química; às peculiaridades da Química e suas relações com a tecnologia, outros campos científicos e não científicos; à estética, ética e problemas ambientais relacionados à Química; e aos aspectos filosóficos relevantes da História, Sociologia, Linguística e ensino de Química. Os artigos dirigem-se a filósofos, historiadores da ciência, químicos e professores de Química⁸⁹.

A *Foundations of Chemistry*, criada em 1999 e editada por Eric Scerri, visa fornecer um fórum interdisciplinar a respeito de questões conceituais e fundamentais na Química: o papel da autonomia da Química entre a Física e a Biologia; a questão da redução da Química à mecânica quântica; modelos, linguagem, metáforas e termos teóricos na Química; evolução da Química e autorreplicação artificial; aplicações industriais, preocupações ambientais, e aspectos sociais e éticos do profissionalismo na Química; estudos institucionais; a natureza da modelagem e o papel da instrumentação em Química; a natureza das explicações nas ciências Químicas; Química Teórica, estrutura molecular e caos; a questão do realismo; Biologia Molecular e Química Bioinorgânica; estudos históricos sobre a Química da antiguidade, química medieval e alquimia; estudos históricos e filosóficos; e materiais de natureza didática relacionados a todos os tópicos das ciências químicas. Os artigos dirigem-se a químicos, bioquímicos, filósofos, historiadores, educadores e sociólogos (Scerri, 1999)⁹⁰.

A produção oriunda dos periódicos mencionados ultrapassa, no momento atual, a marca de três centenas de trabalhos, incluindo artigos e ensaios originais, divulgação de biografias, traduções de fontes primárias, entre outros. Além da produção veiculada por esses dois periódicos, mais de uma centena de artigos e dezenas de monografias

⁸⁷A décima nona edição desse encontro ocorreu em 2015, na cidade do Rio de Janeiro – Brasil.

⁸⁸O nome desse periódico deriva da palavra grega $\upsilon\lambda\eta$, a qual era empregada no âmbito da filosofia, desde Aristóteles, para se referir aos princípios da constituição da matéria.

⁸⁹Todas as informações a respeito do periódico HYLE encontram-se em: <http://www.hyle.org/> - Acesso em: 06 de out. 2014.

⁹⁰Todas as informações a respeito do periódico *Foundations of Chemistry* encontram-se em: <http://link.springer.com/journal/10698> - Acesso em: 09 de out. 2014.

foram produzidos e disponibilizados em outros meios desde 1990 (Schummer, 2006). Concomitante a isso, uma série de livros dedicados à Filosofia da Química têm sido publicados desde então (Baird, Scerri, & McIntyre, 2006; Bensaude-Vincent & Simon, 2008; Bhushan & Rosenfeld, 2000; Earley, 2003; Scerri, 2008; Scerri & McIntyre, 2015).

A Filosofia da Química tem produzido reflexões sobre conceitos fundamentais da Química, como, por exemplo: substância simples, composto (substância composta), afinidade, reação química, átomo, estrutura molecular e aromaticidade (Schummer, 2006). Além disso, a Filosofia da Química tem analisado os métodos químicos, que podem ser divididos em: i) métodos práticos, tais como experimentação, instrumentação e síntese química; e ii) métodos cognitivos, tais como a linguagem pictórica da química e inúmeras formas de construção de modelos e representação (ibid.). Além desses tópicos, Scerri e McIntyre (1997) indicam outros tópicos investigados pela Filosofia da Química, tais como a natureza da explicação química, as leis químicas, e a noção de superveniência, que indica as relações entre o macroscópico e o microscópico.

A partir desses temas e estudos produzidos em Filosofia da Química, podemos propor considerações sucintas a respeito do que ela trata e quais seus objetivos, tal como delineado nas citações a seguir:

A Filosofia da Química aborda o alcance dos fenômenos que se enquadram no domínio da química, a ontologia de entidades das quais se considera que esses fenômenos consistem, e questões de epistemologia, os fundamentos das crenças sobre as quais tais conhecimentos repousam (Justi & Gilbert, 2002, p. 213).

[A Filosofia da Química] trata principalmente da natureza da química e suas fronteiras disciplinares (epistemológicas, metodológicas e raciocínios metafísicos), mas também, em alguma extensão, da cultura da química, seus objetivos e sua identidade disciplinar. Além disso, questões sobre a ética química e estética são discutidas (Sjöström, 2006, p. 11).

O estabelecimento da Filosofia da Química como disciplina em pouco tempo chamou a atenção de educadores interessados em avaliar suas contribuições para a Educação Química, como veremos a seguir.

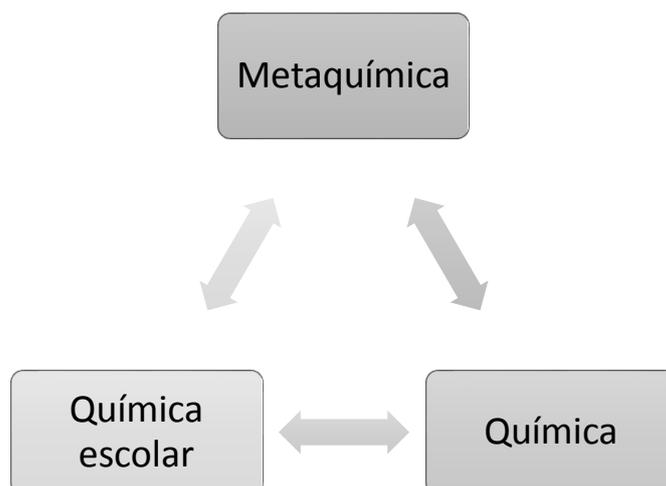
3.2. A Filosofia da Química na Educação Química

Em paralelo ao desenvolvimento da Filosofia da Química, químicos, educadores e filósofos da Química têm argumentando em favor da aproximação entre aquela disciplina e a Educação Química – em especial, para a pesquisa, currículo e formação de profissionais em Química, aspectos que se articulam entre si e constituem diferentes dimensões educacionais (Erduran, 2001, 2013b; Erduran, Adúriz-Bravo, & Naaman, 2007; Erduran & Mugaloglu, 2014; Justi & Gilbert, 2002; Labarca, 2006; Lombardi & Labarca, 2007; Scerri, 2000a, 2001).

Dado que se trata de discussões recentes, ainda estão restritas aos pesquisadores, e são essencialmente de natureza teórica, o que proporciona mais questões em aberto e dúvidas do que respostas. No cenário brasileiro isso se acentua, pois as primeiras publicações em português abordando a Filosofia da Química só começaram a ocorrer em anos recentes e restringem-se a um número reduzido de publicações (Kavalek, Souza, Del Pino, & Ribeiro, 2015; Labarca *et al.*, 2013; Lemes & Porto, 2013; Ribeiro, Pereira, & Ariza, 2011).

Apesar disso, tem se claro que a Filosofia da Química na Educação Química visa incluir a dimensão metaquímica (análise explícita e reflexiva sobre o conhecimento químico), ou explicitar sua relação com a Química (produção do conhecimento químico) e a Química escolar (ensino do conhecimento químico) (Figura 2). Cada uma dessas dimensões apresenta características e objetivos próprios, não sendo, por consequência, equivalentes (Erduran, 2009).

Figura 2 – A Química sob diferentes perspectivas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sugestões semelhantes a essa podem ser encontradas na literatura, como, por exemplo, no artigo de van Berkel e colaboradores (2000), que denominam tais dimensões de filosófica, química e educacional, respectivamente. Em nossa opinião, o uso da expressão *dimensão filosófica* estreitaria em demasia o que queremos dizer com *metaquímica*. Há quem amplie ainda mais o escopo dessa dimensão, como Sjöström (2007), que a compreende como se referindo às disciplinas de Filosofia da Química, História da Química, Educação Química, Química & Sociedade, Cultura da Química e Química Verde. No presente trabalho, estamos entendendo metaquímica como abrangendo apenas as duas primeiras disciplinas mencionadas por Sjöström (2007). A adoção da expressão *química escolar*, por sua vez, sugere que seu foco está no Ensino Básico, pois seu análogo *ciência escolar* foi cunhado, no âmbito da Educação em Ciências, para designar um conhecimento distinto da ciência praticada pelos cientistas.

De modo semelhante ao visto no Capítulo 1 para a História da Ciência, Filosofia da Ciência e Sociologia da Ciência na Educação em Ciências, a Filosofia da Química também tem sido defendida como um campo apto a fundamentar e refinar as bases da Educação Química, e, por sua vez, guiar suas pesquisas por meio de compreensões explícitas e reflexivas sobre a Química (Erduran, 2001, 2009; Erduran *et al.*, 2007). Essas compreensões são produtos da perspectiva autocrítica e analítica da Filosofia da Química, e podem fortalecer a Educação Química enquanto campo disciplinar (Scerri, 2001).

Em termos mais específicos, Erduran (2009) argumentou, por exemplo, que a pesquisa pode ser enriquecida pela aplicação e extensão de três grandes aspectos discutidos pela Filosofia da Química: epistemologia, linguagem e ética. A Filosofia da Química informaria, a partir de tais aspectos, a Educação Química no sentido da formulação de questões de pesquisa e da interpretação de dados empíricos, tal como delineado no Quadro 7. Esse processo interativo entre campos disciplinares distintos necessita a tradução de ideias de um campo a outro, com o intuito de serem úteis e efetivas no nível educacional.

Quadro 7 – Contribuições da Filosofia da Química para a Educação Química

Aspecto da Filosofia da Química	Questões Relevantes	Exemplos de aplicações na Educação Química
<i>Epistemologia</i>	Qual é a estrutura do conhecimento químico? Qual é a estrutura da explicação química? Quais são os processos através dos quais o conhecimento químico é gerado, avaliado e revisado? Quais são os critérios pelos quais o conhecimento químico é avaliado?	O currículo deve representar a natureza e o crescimento do conhecimento químico; Ensino da natureza do conhecimento químico; Aprendizagem da natureza do conhecimento químico e crescimento do conhecimento químico; Avaliações formativas em sala de aula sobre a natureza do conhecimento químico; Instruções delineadas para promover o ensino e a aprendizagem do conhecimento químico.
<i>Linguagem</i>	O que caracteriza o discurso químico? Quais sinais e símbolos são usados como ferramentas na representação do conhecimento químico? Como o conhecimento químico é comunicado? Quais são os padrões, meios e significados pelos quais o conhecimento químico é compartilhado, criticado e atinge um consenso?	Promover e apoiar práticas do discurso químico em ambientes de aprendizagem; Ensino e aprendizagem de sistemas simbólicos da química; Comparação com os discursos do cotidiano.
<i>Ética</i>	Quais aspectos do conhecimento químico relacionam-se às preocupações éticas? Quais são as implicações morais do conhecimento químico?	Desenvolvimento da cidadania através do ensino; Ensino e aprendizagem de sistemas de valores relacionados ao conhecimento químico, seu uso e desenvolvimento.

Fonte: Adaptado de Erduran (2009, p. 5).

Essas aplicações da Filosofia da Química na Educação Química têm sido contempladas por meio de outros referenciais adotados pela Educação em Ciências, não sendo, em termos amplos, apontamentos desconhecidos pelos educadores. O que a Filosofia da Química pode se distinguir em relação ao que vem sendo feito é tratar esses aspectos e ampliá-los de acordo com a perspectiva própria da Química e

suas especificidades. Isso pode ser feito, por exemplo, investigando os discursos de professores de Química em sala de aula (aspecto amplamente investigado pela perspectiva sociocultural na Educação em Ciências) a partir das contribuições da Filosofia da Química; ou ainda, compreendendo a ética sob o viés da Química e dos químicos, e como ela influencia o desenvolvimento de noções de cidadania entre os estudantes.

No que diz respeito à fundamentação, seleção, organização e objetivos dos currículos dos diferentes níveis de ensino, a Filosofia da Química tem sido apontada como um referencial fecundo para a reformulação do que tem sido feito tradicionalmente no ensino de Química (Chamizo, 2007; Earley, 2004; Erduran, 2009; Eriksen, 2002; Izquierdo, 2013; Ribeiro & Pereira, 2013; Ribeiro, Pereira, & Ariza, 2011; Sjöström, 2007, 2013; Talanquer & Pollard, 2010)⁹¹.

Os currículos tradicionais de Química, incluindo os de nível básico, exibem algumas características comuns. São concebidos a partir das necessidades percebidas por químicos, com pouca influência do conhecimento produzido pela pesquisa em Educação Química, o que resulta em currículos voltados à formação de químicos. O currículo tradicional é fundamentado, essencialmente, em uma epistemologia de domínio geral e, por consequência, carece de uma identidade disciplinar. Isso leva ao distanciamento entre a Química que é ensinada e a Química que é praticada pelos químicos profissionais. Essa concepção de currículo coloca ênfase no conteúdo químico, que é organizado na forma de uma progressão linear de tópicos e conceitos que tendem a se suceder de maneira cumulativa. O conteúdo é abordado majoritariamente em termos teóricos, baseando-se, principalmente, na fundamentação mecânica (em suas versões clássicas, quânticas e estatísticas) da matéria submicroscópica (átomos, íons, moléculas) para derivar e justificar o comportamento das substâncias. O currículo tradicional também se caracteriza pelo emprego de definições e conceitos abstratos (isto é, dissociados de seus contextos origem), com poucas situações nas quais os conceitos se relacionam a problemas reais. Nessa organização curricular, as entidades químicas carecem de objetivos próprios, o que, por sua vez, conduz a poucos significados e ao entendimento de que a Química pode ser reduzida à Física. Finalmente, é dada ênfase aos benefícios que

⁹¹Cada um dos trabalhos citados apresenta propostas específicas para a mudança curricular, tendo em comum a orientação da Filosofia da Química. Por conta disso, não entraremos em detalhes de cada uma das propostas, buscando delinear apenas pontos em comum entre elas.

a Química oferece à sociedade, sem que isso seja acompanhado por uma discussão de seus limites, riscos e incertezas (Earley, 2004; Eriksen, 2002; Izquierdo, 2013; Ribeiro & Pereira, 2013; Sjöström, 2007, 2013; Talanquer & Pollard, 2010; van Berkel *et al.*, 2000).

O resultado dessa abordagem, como as pesquisas nos levam a concluir, é que boa parte dos estudantes não são aptos a identificar as conexões entres os conceitos ou tópicos sucessivos, muito menos entre diferentes conceitos ou tópicos; não desenvolvem compreensões adequadas sobre conceitos centrais da disciplina e, por isso, têm sérias dificuldades em aplicar seus conhecimentos para resolver problemas em diferentes contextos; e não veem significado em aprender Química, dada sua distância (ou mesmo isolamento) em relação ao senso comum, à vida quotidiana, à sociedade e às pesquisas químicas realizadas na atualidade (Chamizo, 2007; Izquierdo, 2013; Talanquer & Pollard, 2010).

A Filosofia da Química pode fundamentar, estruturar e orientar a formulação de currículos considerando o ponto de vista químico, ou seja, os modos de pensar, operar e comunicar próprios da Química, abordando-os em termos explícitos e reflexivos. Isso permitiria superar a dificuldade dos currículos tradicionais que se assentam, ainda que parcialmente, em bases filosóficas ocultas ou implícitas (Chamizo, 2013; Izquierdo, 2013; Ribeiro, Bejarano, & Santos, 2012; Ribeiro & Pereira, 2013; Talanquer & Pollard, 2010; van Berkel *et al.*, 2000).

A aproximação com a Filosofia da Química visa tornar os currículos de Química condizentes com as especificidades da atividade química, adequando os conteúdos ao público e às finalidades que se tem em vista:

Químicos estão, primariamente, devotados a conceber, compreender e controlar propriedades dos materiais e transformações químicas. Eles estão interessados nas linguagens, ações e pensamentos que transformam as relações dos fenômenos em entidades químicas, isto é, conceitos químicos. Parece razoável que a química escolar, concebida e realizada por professores, deva objetivar, paralelamente, o controle dos fatos químicos usando ações, linguagens e teoria (Izquierdo, 2013, p. 1638).

Dentro dessa perspectiva, currículos devem se caracterizar por representar a Química como um modo de conhecer e atuar, e que os químicos conhecem pelo fazer. Assim, aprender sobre o mundo consiste, principalmente, em aprender sobre como intervir nele (Chamizo, 2013).

No que concerne à formação de profissionais da Química – incluindo químicos, pesquisadores em Química, pesquisadores da Educação Química e professores dos diferentes níveis de ensino – contribuições específicas são dirigidas a cada um desses perfis, com especial preocupação voltada aos professores. O Quadro 8 sumariza os argumentos encontrados na literatura em prol da Filosofia da Química para a formação de químicos e professores de Química.

Quadro 8 – Razões e justificativas para a Filosofia da Química na formação de químicos e professores de Química

Profissional	Razões e justificativas para a Filosofia da Química em sua formação
Químicos	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecimento dos objetivos e valores correspondentes à Química resulta em mais transparência e eficiência na avaliação da pesquisa; conhecê-los também permite avaliar a validade e consequências da pesquisa e, de acordo com as demandas da Química ou da Sociedade, modificá-los ou substituí-los (Schummer, 1999); • Promoção de aspectos relacionados à boa conduta científica (e química) (Eriksen, 2002); • Esclarecimento advindo da Filosofia da Química provoca uma ampliação da perspectiva puramente empirista da pesquisa em Química (Justi & Gilbert, 2002); • Esclarecimento advindo da Filosofia da Química pode melhorar a comunicação e apreciação das ideias químicas pelo público em geral (Justi & Gilbert, 2002); • A Filosofia da Química explicita, e reflete sobre, conceitos filosóficos (lei, teoria, verdade, hipótese, etc.) e postulados filosóficos (como a realidade do mundo exterior) compreendidos e aceitos de maneira tácita pela investigação científica (Labarca <i>et al.</i>, 2013).
Professores	<ul style="list-style-type: none"> • Transformar um assunto em conteúdo ensinável necessita do conhecimento sobre como o conhecimento disciplinar é estruturado (Erduran <i>et al.</i>, 2007; Izquierdo, 2013); • Dificuldades de aprendizagem na Química são provenientes da operação e a inter-relação entre diferentes níveis (macroscópico e submicroscópico); assim, explicitar e analisar suas bases filosóficas pode melhorar o ensino-aprendizagem da Química (Labarca, 2006; Lombardi & Labarca, 2007); • A dificuldade em identificar os objetivos da Química pode trazer problemas ao professor, no sentido de não tornar suficientemente claro aos estudantes o que deve ser aprendido em uma determinada lição e o porquê de tal lição (Sjöström, 2013); • A Filosofia da Química explicita, e reflete sobre, conceitos filosóficos (lei, modelo, teoria, verdade, hipótese, etc.) e postulados filosóficos (como a realidade do mundo exterior) compreendidos e empregados de maneira tácita no ensino (Labarca <i>et al.</i>, 2013; Scerri, 2000a).

Fonte: Elaborado pelo autor.

A sistematização de razões e justificativas para a Filosofia da Química separadas para químicos e professores não deve ser interpretada de maneira estanque. Quando

utilizamos o termo *químicos* no Quadro 8, temos em mente, principalmente, pesquisadores em Química – que, no contexto brasileiro, em sua maioria se encontram em Universidades Públicas⁹². Além de suas atribuições referentes à pesquisa, esses profissionais também lecionam em cursos de Graduação e Pós-Graduação⁹³, formando futuros químicos e professores de Química. Assim sendo, as razões atribuídas para a formação de professores no Quadro 8 também são válidas para os docentes universitários.

Diversas posições filosóficas são adotadas inconscientemente pelos profissionais de Química. Por exemplo, muitos químicos adotam perspectivas reducionistas: para eles, a Química poderia se reduzir à Física. Não é incomum que profissionais de química, sem refletir sobre o significado epistemológico de modelos, acreditem que eles descrevem a realidade tal como ela é. Além disso, pode-se encontrar químicos que compartilham posições realistas irrefletidas, segundo as quais as entidades que constituem os modelos são retratos fiéis da realidade. Essas concepções pouco elaboradas poderiam ser superadas pela adoção de posições bem fundamentadas, proveniente da introdução da Filosofia da Química no ensino (Lombardi & Labarca, 2007).

Os educadores em Química têm uma especial responsabilidade – a de formar novos profissionais e, em última instância, cidadãos e cidadãs, o que influencia, ainda que não de maneira simples e direta, tanto a compreensão do conteúdo químico quanto a compreensão que os estudantes têm *sobre* a Química. Em todos os níveis de ensino, estudantes apresentam dificuldades no aprendizado da Química. Dentre outros motivos, isso se deve ao fato de confrontarem diferentes realidades: de um lado, o real conhecido pelos estudantes; e, do outro, o real do mundo químico, apresentado por seus professores, em que os componentes das coisas (ou as próprias coisas) são minúsculos (submicroscópicos) e intangíveis. Diante dessas diferentes realidades, muito provavelmente uma boa parte dos estudantes opta pela

⁹²A partir das razões e justificativas apresentadas para os químicos no Quadro 8, é possível inferir que os diferentes autores estão considerando uma única ocupação para os químicos, a saber, a pesquisa em Química. Assim, deixa-se de considerar um contexto significativo de atuação dos Químicos: a Indústria Química e os meios de produção, o que pode envolver, dentre outras atividades, a fabricação de produtos químicos e o controle de qualidade (Rubega & Pacheco, 2000). Nesse sentido, nenhum argumento apresentado no Quadro 8 é dirigido especificamente para as contribuições da Filosofia da Química na formação de químicos industriais.

⁹³No caso dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, os docentes podem atuar também no Ensino Médio.

primeira e ignora a segunda, visto que o real conhecido abrange problemas e soluções mais importantes para a sua vida (Chamizo, 2013).

Em parte, essa situação se origina pela incorporação, de maneira não problemática, de *hábitos tácitos*, ou seja, sem discussão explícita e reflexiva, a respeito dos modos de pensar, operar e comunicar da Química. No contexto do ensino, esses hábitos podem passar despercebidos aos olhos dos iniciados e experientes em Química (Lemes, 2016), mas podem gerar dificuldades aos estudantes: “enquanto químicos podem, por vezes, parecer usar ideias e linguagem semelhante, *existe uma diferença significativa* no modo com que químicos especialistas e novatos aplicam essas ideias” (Taber, 2003, p. 57, itálico do autor).

Diante disso, as discussões realizadas no âmbito da Filosofia da Química podem criar novas demandas para o ensino e levar a uma reconsideração do que deve ser ensinado e de como isso deve ser feito (Erduran, 2009). No caso da formação de professores, se eles têm entre seus objetivos educacionais ensinar o que é a Química e como ela funciona, é importante incorporar discussões sobre a *Natureza da Química*. Há que se ter claro, tendo em vista o acúmulo de pesquisas empíricas, que uma compreensão do domínio do conteúdo e da epistemologia da disciplina não conduz diretamente a uma compreensão de como transformar essas noções para torná-las “ensináveis”, necessitando também iniciativas que visem promover *como* ensiná-las (Erduran, 2009; Erduran & Mugaloglu, 2014).

Em atividades de ensino, professores empregam explicações químicas. No entanto, a maioria dos professores possui um entendimento de natureza intuitiva a respeito do significado de uma explicação científica, devido a não terem tido reflexões nesse sentido em sua formação inicial. A Filosofia da Química pode desenvolver nos professores uma forma de autoavaliação filosófica, proporcionando a eles fundamentação explícita, profunda e abrangente a respeito das explicações científicas em suas aulas ou, ainda, fornecendo explicações científicas alternativas conforme o perfil dos estudantes (Scerri, 2001).

As discussões realizadas pela Filosofia da Química têm destacado que a Química se caracteriza em intervir sobre o mundo. No contexto do ensino, isso implica em aprender sobre *como* intervir e, além disso, instrumentalizar professores no sentido de promoverem, com seus estudantes, atividades direcionadas à resolução de problemas, permitindo seu engajamento ativo e o estabelecimento de relações com o conteúdo do curso (Chamizo, 2013).

As discussões realizadas nesse campo podem atuar também como um guia para a tomada de decisões pedagógicas em relação às seguintes questões: Qual o equilíbrio mais adequado entre Química descritiva e Química teórica? Qual o equilíbrio mais adequado entre aspectos qualitativos e quantitativos? De que modo se pode ensinar os conceitos químicos? (Labarca, 2006)

Naturalmente, é possível argumentar que discussões filosóficas já são promovidas, em alguma extensão, na formação inicial e continuada de professores de Química, por meio de disciplinas, cursos ou oficinas que visam discutir aspectos histórico-filosóficos sobre a ciência. No entanto, a discussão empreendida nesses cursos em geral se baseia em autores relacionados à Física: Karl Popper, Thomas Kuhn, Imre Lakatos e Paul Feyerabend⁹⁴. A única voz dissonante, que costuma ser ouvida no contexto educacional brasileiro, é a de Gaston Bachelard, químico de formação e que empreendeu investigações filosóficas a respeito da Química. Não se rejeita a importância dessas discussões na formação de professores de Química, no sentido de promoverem uma primeira aproximação com as discussões filosóficas. Entretanto, elas não devem ser consideradas suficientes para a formação filosófica desses professores, visto que:

[...] a química como ciência impõe uma agenda de discussão que é própria da Filosofia da Química. Os problemas que nossa ciência suscita só podem ser abordados dentro de uma filosofia específica, que é a Filosofia da Química, que tem acumulado nesses últimos 15 anos uma reflexão bastante ampla e profunda (Labarca *et al.*, 2013, p. 1264).

Por ser um campo recente, a Filosofia da Química ainda tem pouco ou mesmo nenhum impacto sobre o currículo, o ensino e o aprendizado da Química em todos os níveis de ensino. Por conta disso, educadores têm defendido a concentração de esforços, inicialmente, no âmbito do Ensino Superior, pois nesse nível de ensino ocorre a formação de profissionais das mais diferentes áreas, sendo, assim, o *locus* propício para formar profissionais orientados filosoficamente (Justi & Gilbert, 2002).

A diversidade de contribuições atribuídas à Filosofia da Química para a Educação Química, embora reúna um espectro de boas razões para incentivar a interface entre

⁹⁴O autor desta tese participou, ao longo de sua formação, de vários cursos dessa natureza. No curso de graduação, por exemplo, o livro *O que é Ciência, afinal?* (Chalmers, 1993) foi utilizado como base de uma disciplina intitulada *Introdução à Filosofia da Ciência*, na qual foram selecionados os capítulos referentes à epistemologia segundo cada um dos filósofos citados.

esses campos, ainda está à espera de evidências empíricas a respeito de sua pertinência, adequação, limitações, etc., em particular no que tange ao desenvolvimento profissional de professores. Nesse sentido, “a incorporação efetiva da perspectiva filosófica no Ensino de Química exigirá pesquisas sistemáticas e bem concebidas para validar a utilidade e influência de estratégias relevantes” (Erduran & Mugaloglu, 2014, p. 309).

As contribuições apresentadas até aqui, em diferentes dimensões da Educação Química, revelam a importância de compreensões explícitas e reflexivas sobre a Química para fundamentar e refinar as bases da Educação Química; como elemento crucial para ampliar e ressignificar os currículos de Química; e como conhecimento crucial para a formação de profissionais críticos e reflexivos, em especial, educadores em Química. A introdução de discussões oriundas da Filosofia da Química pode promover, entre os educadores, compreensões mais elaboradas sobre a Natureza da Química, de modo análogo à utilização da Filosofia da Ciência (Capítulo 1) para subsidiar compreensões sobre a Natureza da Ciência. A seguir, apresentaremos como a Natureza da Ciência tem sido entendida na interface Filosofia da Química & Ensino de Química, destacando críticas e sugestões para ressignificar esse constructo educacional.

3.3. *Filosofia da Química: um aporte para a Natureza da Química*

Dentre as contribuições atribuídas à Filosofia da Química uma, em especial, é central para os objetivos desta tese: a estruturação de melhores compreensões sobre a Química entre estudantes dessa ciência. É *a partir da e sobre a Química*, em uma perspectiva metacientífica (ou, mais especificamente, metaquímica), que entendemos ser possível atingir esse fim. Em vista disso, e em analogia ao uso da expressão *Natureza da Ciência* na Educação em Ciências (conforme visto no Capítulo 2), optamos por utilizar, ainda que preliminarmente, a expressão *Natureza da Química* para designar o constructo educacional direcionado para promover melhores compreensões sobre a Química.

Constata-se que essa discussão ainda é incipiente. Poucos são os trabalhos que fomentam discussões sobre a introdução da Natureza da Química no ensino. De modo semelhante, identifica-se em número ainda menor discussões que visam estabelecer

um diálogo entre Natureza da Ciência e Natureza da Química, ou seja, entre abordagens de domínio geral e domínio específico.

A postura predominante na Educação Química e no Ensino de Química nas últimas décadas foi a adoção de abordagens de domínio geral, sendo a abordagem de Lederman e colaboradores (Capítulo 2) um exemplo paradigmático. As abordagens de domínio geral silenciam especificidades disciplinares, em prol de aspectos amplos, aplicáveis a quaisquer disciplinas científicas. Nesse sentido, essas abordagens se orientam por questões como “O que é Ciência?” e “Como ela funciona?”, em detrimento de questões do tipo “O que é a Química” e “Como ela funciona?”. As respostas ao primeiro conjunto de questões seriam aplicáveis e suficientes ao segundo conjunto de questões, sem a pretensão de explicitar as particularidades da Química.

A abordagem consensual de Lederman e colaboradores fundamentou pesquisas de diferentes naturezas: no diagnóstico de compreensões sobre a Natureza da Ciência entre estudantes do Ensino Básico (Vhurumuku, 2011); na promoção de melhores compreensões sobre a Natureza da Ciência entre estudantes do Ensino Básico, futuros químicos e professores de Química em formação inicial ou em serviço (Lederman *et al.*, 2012; Lin & Chen, 2002; Marchlewicz & Wink, 2011; Niaz, 2009; Oki & Moradillo, 2008; Tolvanen *et al.*, 2014); na avaliação da prática de professores de Química do Ensino Básico que tiveram, em sua formação inicial, discussões sobre a Natureza da Ciência (Firestone *et al.*, 2012); na análise das compreensões sobre a Natureza da Ciência veiculadas por livros didáticos de Química voltados ao Ensino Superior (Niaz & Maza, 2011) e Ensino Médio (Abd-El-Khalick *et al.*, 2008; Cachapuz *et al.*, 2004; Martorano & Marcondes, 2009).

Em alguns trabalhos, podemos identificar acréscimos ao que é comumente abarcado pela abordagem consensual de Lederman e colaboradores, como, por exemplo, o papel dos modelos e da instrumentação (Oki & Moradillo, 2008; Tolvanen *et al.*, 2014). Contudo, de maneira geral, predomina um forte reflexo da abordagem consensual e, conseqüentemente, o silenciamento das particularidades da Química na temática Natureza da Ciência na Educação Química.

Uma nova perspectiva para a Natureza da Ciência com o viés da Química começou a se tornar tangível quando filósofos e educadores em Química, influenciados pela Filosofia da Química, argumentaram pela mudança de foco ou ampliação da Natureza da Ciência em direção à Natureza da Química (Erduran, 2001,

2009, 2013a; Erduran & Mugaloglu, 2014; Labarca, 2005, 2006; Lombardi & Labarca, 2007; Scerri, 2000a, 2001; Sjöström, 2013). A principal justificativa delineada por esses autores se refere ao fato da Natureza da Ciência omitir a importância da instrução de domínio específico referente a uma disciplina científica particular (Erduran *et al.*, 2007; Erduran & Mugaloglu, 2014; Samarapungavan *et al.*, 2006; Scerri, 2001).

Nesse viés, estudantes de Química refletiriam sobre a Ciência de maneira geral, sem que isso envolvesse, em termos explícitos e reflexivos, os aspectos particulares de sua disciplina. A formação em Química, em especial a de nível superior, pode levar os estudantes à construção tácita de ideias sobre o que é a Química e como ela funciona, por meio do convívio social com químicos experientes, nas disciplinas cursadas ao longo dos cursos de graduação e pós-graduação, no contato com livros didáticos, nos estágios de pesquisa em Química, etc. Ideias tácitas não são postas explícita- e sistematicamente à crítica e reflexão, o que produz concepções tardias, simplistas ou, ainda, pode inibir o reconhecimento de ideias mais elaboradas sobre a Química.

Por exemplo, Samarapungavan e colaboradores (2006) realizaram entrevistas semiestruturadas com pesquisadores e estudantes de Química de diferentes níveis de ensino (Básico, Graduação e Pós-graduação), totalizando 91 voluntários. Eles observaram uma ascendência nas compreensões sobre Ciência que acompanhava o aumento na experiência em Química. Ainda que a investigação não fosse orientada por referenciais da Filosofia da Química, o que levou à formulação de questões de domínio geral, como, por exemplo, “O que é Ciência?”, verificou-se também o crescimento de compreensões mais elaboradas sobre aspectos específicos da Química conforme a experiência dos estudantes em Química aumentava. São exemplos de compreensões mais elaboradas sobre a Química enunciados como: químicos constroem moléculas; químicos desenvolvem novos instrumentos ou técnicas de análise; e químicos tentam compreender o comportamento ou propriedades das substâncias químicas. Respostas desse tipo não foram identificadas entre estudantes do Ensino Básico, tampouco entre alunos de graduação em Química que não tiveram contato com atividades autênticas de pesquisa em Química.

Diante disso, defendemos a ampliação da Natureza da Ciência em direção à Natureza da Química, por meio da contextualização de questões, temas, ideias, focos de estudo e exemplos da Química, para auxiliar os estudantes a desenvolverem

compreensões mais elaboradas sobre essa ciência. A constituição desse tipo de abordagem, de domínio específico, requer contribuições das metaciências particulares que investigam a Química. Nesta tese, concentramos esforços nas contribuições da Filosofia da Química, mas, quando necessário, recorreremos também à História da Química.

A Filosofia da Química pode fornecer um novo e diferente olhar para conceber e interpretar a Natureza da Química, ajudando a esclarecer aspectos ontológicos e epistemológicos da Química de um modo que a Filosofia da Ciência tradicional não foi capaz de detalhar. A Filosofia da Química se mostra importante para a definição de objetivos e conteúdos de ensino ao se debruçar sobre questões como as seguintes (Erduran & Mugaloglu, 2014; Eriksen, 2002):

- O que é o conhecimento químico?
- Como ele se desenvolve?
- Quais critérios, padrões e heurísticas moldam seu desenvolvimento?
- Como ele é usado?
- Quais são os benefícios e perigos relacionados a ele?
- Os químicos têm responsabilidade por esses usos?

Assim como se observou para a Filosofia da Ciência, a Filosofia da Química apresenta uma diversidade de perspectivas, algumas complementares entre si, outras opostas. Lemes e Porto (2013), em revisão bibliográfica dos artigos publicados nos periódicos *Hyle* e *Foundations of Chemistry*, constataram que respostas à pergunta “Como a Química funciona?” refletem uma “ausência de consenso sobre se a química se centraliza na experimentação; se na manipulação de entidades teóricas ou de substâncias químicas; se os químicos devem ser realistas ou não; ou se a química é ou não redutível à física” (Lemes & Porto, 2013, p. 134).

Essa ausência de consenso se constituiria em obstáculo caso a pretensão fosse privilegiar uma única perspectiva sobre a Natureza da Química. Contudo, pretende-se aqui apresentar uma perspectiva plural, que permita fomentar discussões sobre a Natureza da Química, com a finalidade de promover compreensões mais elaboradas entre os estudantes de Química, sem que isso implique em compromisso com uma compreensão única.

Não há na literatura, até o momento, uma proposta que trate de maneira sistemática e articulada diferentes aspectos, temas ou questões referentes à Natureza

da Química de um modo que se assemelhe às propostas alternativas à abordagem consensual, apresentadas no Capítulo 2. Essa lacuna se explica pelo grau ainda embrionário das discussões em torno da Natureza da Química no ensino, intimamente relacionado com o desenvolvimento da Filosofia da Química e à falta de estabilização dos conteúdos, temas e problemas passíveis de serem selecionados para compor a Natureza da Química. É possível, porém, observar iniciativas por parte de filósofos e educadores em apontar a relevância, para o Ensino de Química, de um grupo de temas discutidos pela Filosofia da Química. A avaliação, seleção e adequação desses temas pode orientar a produção de uma proposta cujo objetivo seja discutir a Natureza da Química.

3.4. *Ensinar a Filosofia da Química e o filosofar sobre a Química: uma proposta*

3.4.1. *Motivações e perspectiva adotada*

Esta seção visa fundamentar, ampliar e esclarecer questões em torno do ensino da Filosofia da Química que não estão sendo contempladas pelos educadores da interface Filosofia da Química & Educação Química. Apesar da fecundidade de contribuições fundamentadas na Filosofia da Química dirigidas à Educação Química, nota-se que questões dirigidas ao ensino, seja na forma de uma disciplina, aula ou abordagem informada pela Filosofia da Química, não são respondidas por essa literatura, ou são pouco detalhadas. Questões como: O que se quer dizer com formar estudantes *críticos* e *reflexivos* por meio da Filosofia da Química? Quais as características dessa disciplina que influenciam o ensino de Química? Quais as dificuldades ou obstáculos que os educadores podem enfrentar ao ensiná-la? Recorreremos então ao ensino de Filosofia e de Filosofia da Ciência – disciplinas que apresentam pontos em comum com a Filosofia da Química – em busca de analogias para responder às questões anteriores e outras, situadas na interface Filosofia da Química & Educação Química.

No que diz respeito à temática *Natureza da Química*, esta seção também pretende criticar, ampliar e ressignificar o que tem sido proposto até o presente momento. As seguintes questões não têm sido enunciadas, ou ainda carecem de maior fundamentação e justificativa: O termo *Natureza da Química* é adequado para comunicar o que se pretende alcançar por meio do seu ensino? Qual o papel da

Filosofia da Química no âmbito das discussões da Natureza da Química? Qual a melhor abordagem para a Natureza da Química?

Para isso, recorreremos a referenciais voltados ao ensino de Filosofia no Ensino Básico e Superior para não filósofos. Também a Filosofia da Ciência na Educação em Ciências (discutida no Capítulo 1) e a Natureza da Ciência na Educação em Ciências (abordada no Capítulo 2) complementarão nossas considerações.

É preocupação filosófica e objetivo dos autores do ensino de Filosofia buscar respostas para questões de interesse da educação: *Por que ensinar? Para quem ensinar? Para quem ensinar? O que ensinar? Como ensinar? O que avaliar e como? Quais os desafios e obstáculos envolvidos nesse processo?* Naturalmente, todas as perguntas e suas respostas são orientadas tendo em vista a disciplina de Filosofia – porém, podem também orientar o ensino de Filosofia da Química. A contribuição dos educadores em Filosofia fundamenta e esclarece perspectivas, conceitos e expressões da educação que comumente são tomadas como autoevidentes e autoexplicativas.

Nosso propósito é estabelecer analogias frutíferas a partir do ensino de Filosofia em direção ao ensino de Filosofia da Química. A produção de analogias toma como referência o campo da Filosofia, estabelecido e maduro em torno de suas reflexões, com o intuito de identificar aspectos passíveis de serem estendidos ao ainda incipiente ensino de Filosofia da Química. No decorrer desse processo, deve-se tomar cuidado com a plausibilidade do que é transferido e promover adaptações, quando pertinente, ao novo contexto, o que envolve delinear as diferenças e o alcance da analogia.

3.4.2. Para quem?

A primeira analogia se dá, primeiramente, em relação ao público-alvo do ensino de Filosofia (Para quem o ensino de Filosofia se dirige?). Esse ensino é dirigido a públicos que não almejam tornar-se filósofos profissionais (bacharéis ou licenciados em Filosofia). Nesses contextos, argumenta-se que a Filosofia não é um fim em si mesma⁹⁵, não tem o mesmo rigor, objetivos, etc., como teria para filósofos formados

⁹⁵É possível identificar críticas a essa caracterização instrumental para a Filosofia, sendo considerada por Gallo (2010) como antifilosófica. Segundo esse autor, a História da Filosofia, desde Aristóteles, tem concebido a Filosofia como um fim em si mesma, e seu ensino deveria manter isso.

e em formação, para os quais “a informação, o domínio de categorias teóricas e das referências históricas da filosofia têm um lugar proeminente” (Severino, 2009, p. 30).

Os educadores interessados nas contribuições da Filosofia da Química endereçam suas considerações, especialmente, a químicos e professores de Química. Esses educadores devem ter clareza, tal como no ensino de Filosofia, que a incorporação da Filosofia da Química na formação daqueles profissionais não tem como objetivo formar especialistas nesse campo. Ao se ignorar isso, o planejamento de um curso, aulas ou abordagens fundamentadas na Filosofia da Química pode resultar em rigor, abstração, profundidade, enfoques e objetivos excessivos, conduzindo a dificuldades para a compreensão do que é estudado e, principalmente, na perspectiva dos estudantes, a indagação de por que isso é importante para a sua formação.

O reconhecimento do público-alvo é importante para não tomar os assuntos, conceitos, ideias e perspectivas da Filosofia da Química como sendo óbvios ou conhecidos pelos estudantes – que provavelmente estarão em contato pela primeira vez com essa temática. Além disso, diante da proximidade, em menor ou maior grau, com a Filosofia e Filosofia da Ciência, as ideias, conceitos, temas e jargões originários desses campos, e presentes na Filosofia da Química, também não devem ser naturalizados. Negligenciar esse aspecto pode reforçar a falta de familiaridade dos estudantes com o que está sendo estudado, levando à desmotivação.

3.4.3. Para quê?

A segunda analogia com o ensino de Filosofia é estabelecida em torno das razões para justificar seu ensino (Para quê ensinar Filosofia?). A partir da caracterização do público-alvo, seu ensino adquire um estatuto distinto e se reconfigura, a partir e por meio da Filosofia, para propiciar que cidadãos e cidadãs *pensem por conta própria*. A finalidade do ensino de Filosofia é tornar os estudantes aptos a enunciar, reconhecer e resolver problemas não contemplados em sala de aula, sendo, assim, *seus problemas*, tendo em vista que não foram fornecidos pela escola ou pelo professor (Gelamo, 2010; Matos & Medeiros, 2015; Rodrigo, 2007, 2009).

O pensar por conta própria é expressão do ideal de autonomia almejado pela educação. Ser autônomo “significa que o estudante pensa por si próprio, fazendo seus próprios julgamentos e intervindo ativamente na construção de seus conhecimentos”

(Ramalho & Lima, 2015). Para atingir esse objetivo, é necessário o desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo (Alves, 2003; Goto, 2007; Matos & Medeiros, 2015; Meucci & Barros Filho, 2009; Ramalho & Lima, 2015; Tomazetti, 2009).

A compreensão do ser *crítico* pode ser delineada a partir daquilo que essa postura visa combater: as verdades imediatas, prontas e dogmáticas, assim como as visões simplistas da realidade (Ramos, 2007). A crítica não deve ser entendida num sentido negativo ou pejorativo, como no senso comum que a identifica com “falar mal”. O que está em jogo é revisar e avaliar os valores predominantes; distinguir e examinar os pressupostos e fundamentos das afirmações e o estado das coisas; reconhecer os limites envolvidos; e compreender as possibilidades dos saberes e práticas (Cerletti & Kohan, 1999).

O pensamento *reflexivo*, por sua vez, se refere à “atitude consciente, comprometida, intencional de repensar o que já foi pensado, problematizar o pensamento estabelecido, submetendo-o à dúvida, à crítica, à análise cuidadosa, buscando seu significado mais profundo, verdadeiro” (Silveira, 2007, p. 86). Assim, exercitar a reflexão é pensar sabendo o que se pensa, pensando sobre o que se pensa (Goto, 2007), lançando estranheza sobre o que se conhece, retirando o véu de obviedade e familiaridade que recobre o conhecido (Pereira *et al.*, 2014).

Assim, o pensamento crítico se associa a uma postura de não aceitação e não conformação do que nos rodeia e nos afeta, enquanto o pensamento reflexivo põe em análise, a partir de teorias, conceitos, ideias e critérios o que nos rodeia e nos afeta.

No âmbito da Filosofia da Química, as razões apontadas para justificar a inserção dessa disciplina na formação em Química são específicas, com o intuito de salientar o que é próprio dela. Por outro lado, os educadores em Filosofia se fundamentam em razões mais amplas, tendo em vista as características de sua disciplina. Apesar da diferença nos enfoques, entendemos que também a Filosofia da Química visa formar profissionais que pensem por conta própria, com criticidade e reflexividade. Estas duas características são amplamente mencionadas pelos defensores da Filosofia da Química no ensino, sem que, contudo, explicitem o que entendem por ser crítico e reflexivo. Considerando como os educadores em Filosofia têm clareza a respeito de tais conceitos, os adotamos também para a educação em Filosofia da Química. Naturalmente, a criticidade e reflexividade nessa última serão dirigidas a objetos mais específicos, como, por exemplo, o conhecimento químico, a atividade química, o ensino de química, etc.

Considerar a Filosofia como única responsável pela promoção do pensamento crítico e reflexivo dos estudantes é uma opinião vista com ressalvas pelos pesquisadores da área de ensino de Filosofia. De fato, todas as disciplinas devem ou deveriam estar compromissadas com tal finalidade. Se somente à Filosofia for atribuído o dever de promover o pensamento crítico e reflexivo, o risco disso não se concretizar é grande (Gallo, 2007, 2010; Matos & Medeiros, 2015; Pereira *et al.*, 2014).

De modo análogo, a Filosofia da Química na Educação Química não deve ser considerada como a única abordagem preocupada em promover o pensamento crítico e reflexivo. Todas as disciplinas, aulas e abordagens da formação em Química devem se orientar para tal desenvolvimento. Cada qual tem assuntos, conceitos, práticas e objetivos próprios na formação; contudo, em última instância, devem pretender esse objetivo mais amplo e fundamental.

Assim como no caso da Filosofia (Danelon, 2010; Pereira *et al.*, 2014; Ramos, 2007), não se quer negar o que é próprio da atividade filosófica, em especial, da Filosofia da Química, a saber, *criticar e refletir* a partir da e sobre a Química. Crítica e reflexão são condições necessárias para a atividade filosófica. É próprio da Filosofia da Química um modo específico de pensar, o qual não se desenvolve por meio de opiniões, mas no rigor da construção conceitual voltado à atribuição de sentido e significado, ou seja, articulando conceitos com o intuito de compreender a Química.

3.4.4. O que ensinar? Como ensinar?

Um terceiro ponto de convergência diz respeito às características e modos de proceder da Filosofia, que são aplicáveis, em alguma extensão, à Filosofia da Química. Entender o que é Filosofia e como ela opera é importante para traçar diretrizes sobre “O que ensinar em Filosofia?” e “Como ensiná-la?”. A seguir, reunimos algumas respostas a essas questões, caracterizando a Filosofia de diferentes maneiras:

1. *Plural*: a Filosofia exhibe uma multiplicidade de perspectivas, conceitos, concepções e temas (Palacios, 2010);

2. *Aberta*: a Filosofia carece de amplos resultados consensuais para seus problemas centrais, o que não significa que ela não apresente resultados, ou que não haja consensos⁹⁶ (Murcho, 2008);

3. *Especulativa*: a Filosofia lida com problemas que nenhuma outra disciplina resolve, seja por desinteresse ou impossibilidade (Murcho, 2008);

4. *Conceitual*: a Filosofia procede por meio da criação de conceitos⁹⁷ ou pensando por meio deles, sendo produzidos ou utilizados em virtude de problemas “vividos” pelo filósofo. No entanto, a Filosofia não busca necessariamente soluções acabadas, priorizando as formas possíveis de encarar um problema⁹⁸ (Cerletti & Kohan, 1999; Fleuri, 1987; Gallo, 2007, 2010; Gelamo, 2007; Meucci & Barros Filho, 2009; Pereira *et al.*, 2014; Pimentel & Monteiro, 2010; Ramalho & Lima, 2015; Zuben, 1992);

5. *Dialógica*: a Filosofia confronta-se consigo mesma – tendo em vista os diferentes filósofos e seus pontos de vista –, com os outros saberes e com o mundo (Cerletti & Kohan, 1999; Fleuri, 1987; Gallo, 2007; Gelamo, 2007; Pereira *et al.*, 2014);

6. *Não-conformista*: a Filosofia se caracteriza pela postura crítica e de questionamento contínuo (Gallo, 2007).

Em seções anteriores deste capítulo, apresentamos respostas, ainda que necessariamente incompletas, parciais e provisórias, sobre o que é a Filosofia da Química. Elas se concentravam em caracterizar o que é próprio desse campo, como forma de distingui-lo da Filosofia da Ciência. Assim, as generalidades, ou seja, aspectos em comum foram ignorados. Contudo, as características e modos de proceder mencionados para a Filosofia também podem ser estendidos à Filosofia da Química.

Ainda que seja um campo disciplinar relativamente recente, o acúmulo de investigações filosóficas permite afirmar que a Filosofia da Química é plural, por

⁹⁶Murcho (2008) descreve, por exemplo, que existe consenso quanto a resultados negativos, isto é, consenso em torno de um determinado argumento ou teoria não funcionar ou ser falso.

⁹⁷Embora amplamente considerada como uma característica da Filosofia, a criação de conceitos como um critério delimitador desse campo é vista com ressalvas por Palacios (2010). Segundo ele, essa compreensão pode ser plausível como uma definição simples, mas não pode ser considerada uma exigência do fazer filosófico: “A criação de conceitos pode ser uma consequência, mas certamente não é a finalidade nem o requisito do que se fez e se faz na filosofia” (Palacios, 2010, p. 8, grifos no original). Para ele, o que motiva o ato de filosofar diz respeito ao reconhecimento de um problema (ou problemas) e a busca por sua solução, o que não necessariamente exige a criação de conceitos.

⁹⁸Gelamo (2008) destaca que problemas e soluções têm naturezas diferentes: o primeiro tem caráter universal e o segundo é particular, pois pode haver várias formas de resolver um problema. Ainda assim, encontram-se intimamente relacionados, na medida em que a solução só encontra sentido no problema que a produz.

exemplo, ao observar que diferentes perspectivas têm sido defendidas em relação ao reducionismo da Química à Física (Rozentaliski, 2013) ou, ainda, tendo em visto a diversidade de temas discutidos nesse campo. Seguindo essa característica, é difícil reconhecer consensos ou, quando existentes, estes não são definitivos, sempre dando margem a novos olhares e resultados, motivados pela postura constante de crítica e reflexão própria de um campo filosófico. Isso a configura como uma disciplina aberta e não conformista.

A Filosofia da Química é especulativa, debruçando-se sobre objetos que podem não ser contemplados, seja por desinteresse ou impossibilidade, por outras disciplinas. A análise a partir da e sobre a Química circunscreve bem o objeto de estudo da Filosofia da Química. Ao estudar teorias, leis e conceitos químicos, a Filosofia da Química trata de objetos que são de interesse de químicos e educadores. O que, de fato, muda é a adoção de um viés distinto e complementar por parte dos filósofos da Química, fruto de uma fundamentação, modos de raciocinar e proceder, objetivos, etc., diferentes daqueles dos químicos.

O enfrentamento dos problemas filosóficos da Química também pode ocorrer pela criação ou utilização de conceitos. Os autores do ensino de Filosofia não deixam claro o que eles querem comunicar com o termo “conceito”. Nós interpretamos como a criação e utilização de ideias, argumentos e raciocínios, que são articulados entre si para resolver um problema filosófico. Os filósofos da Química não vão realizar “experimentos” como os químicos o fariam, por exemplo, traçando e implementando uma nova rota sintética para avaliar seu rendimento em relação à rota tradicional adotada, mas podem se basear no que os químicos comunicam a respeito do que e como fazem para estruturar um argumento ou ilustrar algumas de suas teses. Nessa perspectiva, podemos entender a Filosofia da Química como conceitual.

Por exemplo, um problema debatido pela Filosofia da Química é o estatuto das leis científicas no âmbito da Química: As leis na Química diferenciam-se das leis de outras disciplinas científicas? Para responder a essa questão, filósofos da Química recorrem à tabela periódica e à lei periódica, centrais na Química e familiares a qualquer químico. A lei periódica não é exata como as leis físicas – por exemplo, as leis de Newton do movimento, que podem ser descritas em termos de equações matemáticas. Em termos gerais, a lei periódica afirma que as propriedades dos elementos químicos variam periodicamente em função do número atômico dos elementos. O que torna a lei periódica distinta das leis da Física é sua natureza

aproximada, sendo mais bem descrita em termos qualitativos. Por exemplo, os metais alcalinos lítio, sódio e potássio são exemplos da repetição periódica de certas propriedades (são metais muito reativos, com baixa densidade, reagem rapidamente com a água liberando gás hidrogênio e formando um hidróxido, etc.). Entretanto, cada um desses elementos apresenta peculiaridades em suas propriedades: elas são similares, mas não idênticas (a reação com a água se torna mais violenta – e até explosiva – à medida em que aumenta o número atômico do elemento desse grupo). Assim sendo, justifica-se que na Química existam *leis aproximadas* (Christie & Christie, 2000). Ainda que essa interpretação possa ser refutada por outros filósofos da Química, ela ainda assim ilustra a criação de um conceito (lei aproximada) e o raciocínio subjacente no âmbito da Filosofia da Química.

As respostas aos problemas filosóficos são sempre dirigidas a alguém – como a um filósofo da Química que apresentou no passado outra resposta à mesma questão, tendo como objetivo discordar, complementar ou apresentar uma solução alternativa. Uma questão pode ser proposta para chamar a atenção de outros filósofos, ou mesmo de químicos e educadores, para enunciar e explicitar um problema que se considere importante e que não tenha sido enfrentado. Em todas essas situações, a Filosofia da Química está sendo dialógica.

A caracterização, modos de proceder e posturas da Filosofia têm consequências em relação ao que ensinar e como ensinar. Nota-se um consenso sobre a necessidade do ensino de Filosofia contemplar o trânsito entre o par dialético ensinar a Filosofia e ensinar a filosofar (Alves, 2013; Cerletti & Kohan, 1999; Danelon, 2010; Dias, 2009; Gallo, 2007, 2010; Gelamo, 2010; Goto, 2007, 2009; Murcho, 2008; Palacios, 2007; Pereira *et al.*, 2014; Pimentel & Monteiro, 2010; Ramalho & Lima, 2015; Ramos, 2007; Rodrigo, 2007; Severino, 2009; Zuben, 1992)⁹⁹.

O *ensinar a Filosofia* abrange os conteúdos historicamente construídos pelos filósofos, consistindo na História da Filosofia e visando comunicar os problemas, metodologias e respostas apresentadas pelos diferentes filósofos ao longo da história, cada qual em contextos culturais particulares. A adoção de um único filósofo, discurso

⁹⁹Embora amplamente citado por filósofos e professores contemporâneos de Filosofia, o par dialético *ensinar a filosofar e ensinar a Filosofia* remonta aos filósofos alemães Immanuel Kant (1724 – 1804) e Georg W. F. Hegel (1770 – 1831), os quais são citados e discutidos em muitos dos trabalhos citados aqui. Segundo Kant, a Filosofia não é ensinada por meio de pensamentos, mas no exercício ativo de pensar. Para que isso seja estimulado, os conteúdos filosóficos devem ser apreendidos, de acordo com Hegel (Ramos, 2007).

filosófico ou corrente filosófica no contexto do ensino restringe a própria Filosofia e sua natureza dialógica, pela qual as diferentes correntes são postas em comparação, avaliação e discussão, produzindo novas compreensões filosóficas (Goto, 2009).

Geralmente, o ensino de Filosofia em nível introdutório se restringe ao *ensinar a Filosofia*: o papel do professor se resume à transmissão dos conteúdos filosóficos historicamente produzidos, atuando na mediação entre os estudantes e os textos filosóficos, explicando o significado das ideias contidas nos textos. O papel do estudante se restringe a assimilar e comunicar o que os filósofos pensaram, de acordo com o texto do próprio filósofo ou a explicação do professor. A experiência com a Filosofia é condicionada pelo filósofo estudado e pelo professor, não permitindo a incerteza, ambiguidade e diferença na forma de pensar dos estudantes, o que inclui, muitas vezes, a rejeição imediata de suas ideias que entrem em conflito com a interpretação pretendida pelo professor (Gelamo, 2010; Murcho, 2008; Palacios, 2007).

O que se defende é uma experiência filosófica genuína para o estudante, na qual ele constrói seus próprios significantes a partir de sua experiência, os quais não necessariamente devem ser os do texto filosófico ou os projetados pelo professor (Gelamo, 2010). Para esse fim, desloca-se a experiência do mundo possível apenas sob o aval do filósofo ou do professor, que delimita os problemas e soluções legítimas, em direção à experiência de um problema que afeta o estudante. Tal deslocamento de foco permite o desenvolvimento do *ensinar a filosofar*. Contudo, isso não implica no abandono da História da Filosofia:

Trata-se [...] de se instaurar, de se desenvolver e de amadurecer um estilo de reflexão, um modo de pensar, um jeito especial de fazer atuar a subjetividade. [...] Só posso aprender a pensar pensando, mas, para nós, pensar implica retomar aquilo que é resultante do já pensado. Eis a justificativa e a significação mais profunda do diálogo com os pensadores que nos antecederam no tempo e com aqueles que convivem conosco num mesmo espaço social, na contemporaneidade (Severino, 2009, p. 25 e 27).

A História da Filosofia não é vista simplesmente ou unicamente como meio para se ilustrar o fazer filosófico, mas como um terreno rico para provocar a reflexão filosófica dos estudantes (Palacios, 2007). Assim, ensinar a Filosofia envolve sua história, seus problemas, conceitos e teorias como fundamentos para a problematização da atualidade, enquanto o ensinar a filosofar implica em

argumentação, problematização e reconceitualização (Murcho, 2008; Pereira *et al.*, 2014).

Em vista disso, podemos estabelecer uma analogia para a Filosofia da Química a partir da Filosofia. Se temos em mente uma disciplina inteiramente dedicada, ou aulas dirigidas especificamente à Filosofia da Química, os conteúdos (problemas, temas, conceitos, perspectivas, etc.) devem ser selecionados de acordo com o propósito da aula, nível de desenvolvimento dos estudantes, estrutura do curso, etc. Assim, estaremos em menor ou maior grau, dependendo dos fatores mencionados, *ensinando a Filosofia da Química*, ainda que esta não seja feita *por* filósofos e *para* filósofos da Química. Os conteúdos não pretendem ter um fim em si mesmo, mas visam provocar a crítica e a reflexão, instaurando situações para os estudantes realizarem suas próprias experiências filosóficas.

A pluralidade, a postura dialógica e não conformista próprias da Filosofia da Química devem estar presentes e ser promovidas, não apenas por serem características do campo, mas, principalmente, para *ensinar a filosofar sobre a Química* ou, como utilizaremos daqui em diante, o *filosofar sobre a Química*. Enquanto no *ensinar a Filosofia da Química* o protagonismo reside no professor, na medida em que apresenta e explicita questões filosóficas sobre a Química a partir da Filosofia da Química, no *filosofar sobre a Química* o protagonismo deve ser concedido ao estudante. Na Filosofia, na Filosofia da Ciência e na Filosofia da Química, cada filósofo particular pretende defender e argumentar em prol de uma doutrina filosófica, isto é, estruturar um raciocínio e argumentação a partir de um problema e assumi-los, se não verdadeiros, ao menos como a melhor solução possível. Se o intuito fosse apenas *ensinar a Filosofia da Química*, o papel dos estudantes residiria em conhecer, compreender e comunicar as doutrinas de cada filósofo. Os estudantes poderiam, eventualmente, se filiar à doutrina que julgassem mais interessante. Entretanto, o *filosofar sobre a Química*, como defendido por nós, propõe que os estudantes tenham liberdade e autonomia para conceberem suas próprias filosofias, tendo em vista que a Filosofia da Química é um meio provocador de crítica e reflexão.

O *filosofar sobre a Química* deve abranger práticas de ensino que incentivem os estudantes a: apresentar suas ideias sobre o tema em questão; argumentar com o intuito de defender seu ponto de vista; e dialogar com os pontos de vista dos demais colegas, com aqueles expressos pelos filósofos da Química e com os do professor. É

no decorrer de tal processo que o desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo dos estudantes pode ser construído sobre a Química.

O trânsito entre o *ensinar a Filosofia da Química* e o *filosofar sobre a Química* pode ser subsidiado e orientado pelas seguintes sugestões feitas pelos educadores em Filosofia, as quais foram adaptadas à Filosofia da Química:

- Considerar legítimos os modos de apreensão do real, a linguagem e as ideias iniciais dos estudantes sobre a Química. No entanto, suas compreensões devem ser problematizadas, sendo o papel da Filosofia da Química ampliar as possíveis compreensões existentes, com o intuito de produzir interpretações mais elaboradas (Rodrigo, 2007; Severino, 2009);

- Promover situações de ensino-aprendizagem nas quais os estudantes desempenhem a atividade de questionar, por meio das questões “o que?”; “porquê?”; e “para quê?”, bem como desempenhem a atividade de buscar respostas às questões (Matos & Medeiros, 2015; Ramalho & Lima, 2015);

- Refletir a partir e em função dos problemas da Química, considerando também e estabelecendo relações com problemas conhecidos ou vividos pelos estudantes a respeito da Química. Isto é fundamental para dar sentido ao que é estudado, sua compreensão e seu enfrentamento – não apenas como recurso didático, mas como forma de estabelecer uma atitude questionadora em relação à atividade química (Cerletti & Kohan, 1999; Fleuri, 1987; Matos & Medeiros, 2015; Palacios, 2007; Pimentel & Monteiro, 2010);

- Os problemas devem ser atrelados à Filosofia da Química, em especial, seus problemas, assuntos, conceitos e perspectivas, avaliando seus fundamentos, plausibilidade e aceitabilidade (Murcho, 2008; Pereira *et al.*, 2014; Ramos, 2007);

- A discussão e argumentação em sala de aula devem ser fomentadas com mais de uma perspectiva sobre o tema em questão, contemplando, assim, o pensamento divergente (Cerletti & Kohan, 1999; Danelon, 2010; Ramalho & Lima, 2015; Silveira, 2007);

- Garantir a liberdade de revisar e questionar as diferentes respostas, especialmente quando se considera o par professor-alunos: os caminhos apresentados pelo professor não podem ser tomados como obrigatórios para os alunos (Cerletti & Kohan, 1999; Silveira, 2007);

- Para as diferentes posições envolvidas, o professor deve fornecer subsídios na forma de ideias, conceitos e orientações que auxiliem os estudantes a fazer suas próprias escolhas (Silveira, 2007).

3.4.5. Avaliar? Se sim, o que e como?

Uma questão ainda pouco discutida no âmbito dessa temática diz respeito a como, ou mesmo, se é pertinente ou não, avaliar a aprendizagem em Filosofia (O que avaliar e como avaliar em Filosofia?). De modo semelhante, não se observa, na literatura, preocupação ou comentário a respeito da avaliação em Filosofia da Química. No ensino de Filosofia, o que vigora comumente é descrito abaixo:

[...] no contexto da Educação Básica ainda paira a ideia entre estudantes, professores e coordenadores pedagógicos, de que não é preciso – nem sequer possível, avaliar objetivamente em Filosofia. Quase sempre nesse nível são privilegiados os trabalhos, os júris simulados, os debates e as questões “abertas”, preferencialmente pautados num posicionamento pessoal do aluno frente aos “temas” discutidos durante as aulas (Dias, 2009).

Ainda que dirigido ao Ensino Básico, a consideração anterior é aplicável em alguma extensão às disciplinas filosóficas introdutórias no Ensino Superior. Não é incomum os estudantes fundamentarem suas ideias unicamente em preferências e opiniões pessoais. Estas têm lugar e devem ser consideradas no início da discussão, como forma de dialogar com seus conhecimentos prévios. Contudo, o ensino de Filosofia, e de Filosofia da Química, visa construir um conhecimento mais elaborado, explícito e sistematizado. Na Filosofia, é característica a apreensão, comparação, separação, análise, síntese, interpretação e questionamento das informações que nos chegam por meio dos sentidos (Alves, 2003; Dias, 2009). Na Filosofia da Química, esses modos de proceder são dirigidos à Química.

É importante considerar também o propósito da avaliação. No ensino de ciências tradicional, a avaliação prioriza e quantifica o domínio dos conteúdos ensinados (teorias, conceitos, leis, etc.), geralmente, no âmbito da resolução de problemas. O que tem valor é o *produto* do processo-ensino aprendizagem. No ensino de Filosofia da Química defendido aqui, pautado no trânsito entre o *ensinar a Filosofia da Química* e o *filosofar sobre a Química*, o modelo tradicional de avaliação não contemplaria este

último aspecto. A avaliação tradicional da aprendizagem do estudante seria realizada em torno dos conteúdos de Filosofia da Química apreendidos, sendo que a aprendizagem seria estimada pela maior ou menor proximidade entre o discurso do aluno e uma versão “oficial” baseada em textos da área, ou no discurso do professor.

Diferentemente disso, a avaliação deve ter seu foco no *filosofar sobre a Química*. Os conteúdos da Filosofia da Química são *meios* para provocar a crítica e a reflexão dos estudantes. Não se rejeita que os conteúdos devam ser incorporados, em alguma medida, na forma de pensar, argumentar e comunicar dos estudantes, constituindo uma base filosófica para eles/elas. Porém, o que se ensina e, principalmente, o que se avalia na aprendizagem, não deve residir tanto nos conteúdos, mas no desenvolvimento e apropriação de um pensamento crítico e reflexivo sobre a Química.

Empreender avaliações em tais moldes implica no deslocamento da avaliação de *produtos* em direção aos *processos*. Avaliar o processo é reconhecer e identificar as compreensões dos estudantes no início das aulas de Filosofia da Química e, a partir daí, acompanhar paulatinamente como os estudantes se posicionam frente às discussões, suas ideias e argumentos, buscando também identificar mudanças em suas falas e textos escritos. Não se questiona a maior dificuldade em realizar essa forma de avaliação em relação à avaliação tradicional. Entretanto, seria o caminho mais adequado para avaliar se os objetivos pretendidos com a Filosofia da Química – formar estudantes críticos e reflexivos sobre a Química – estão sendo alcançados ou não.

As seguintes questões diagnósticas e avaliativas, ainda que gerais em seu escopo, podem orientar o professor nesse processo. Essas questões são inspiradas no ensino de Filosofia (Gallo, 2010), e foram adaptadas para o ensino de Filosofia da Química:

✓ Quais as compreensões prévias dos estudantes a respeito do assunto da Filosofia da Química que será discutido? Como essas concepções se articulam com o que será discutido em sala?

✓ Ao longo das aulas, quais são as ideias dos estudantes sobre o assunto? Quais as diferenças, caso existam, em relação às compreensões prévias? É possível reconhecer a apropriação de ideias discutidas em sala de aula, oriundas de textos de filósofos da Química, do professor ou dos demais colegas?

✓ Após a primeira discussão sobre o assunto, o estudante é capaz de abordar outros problemas relacionados ou contextos não utilizados em aula? Como o

estudante aborda um novo problema ou novo contexto? O estudante emprega as ideias discutidas em sala aula? Reconhece as particularidades do problema ou do contexto? Recorre a ideias diferentes das discutidas em sala de aula?

3.4.6. Quais os obstáculos e desafios envolvidos?

Por fim, até o momento, observamos que poucas iniciativas centradas na implementação da Filosofia da Química em sala de aula foram realizadas. Nesse âmbito, o ensino de Filosofia também pode fornecer indicativos em torno dos desafios e obstáculos relacionados à implementação de disciplinas, aulas ou abordagens fundamentadas ou inspiradas na Filosofia da Química.

Os educadores em Filosofia esclarecem que os estudantes possuem concepções prévias a respeito do que é a Filosofia e qual a sua finalidade, construídas em contextos formais e não formais, sendo, geralmente, de conotação negativa e gerando obstáculos ao seu ensino. Alguns exemplos dessas concepções prévias são os seguintes:

- A filosofia não responde nada, não resolve nada, cada filósofo pensa de um jeito e eles têm ideias contraditórias entre si (Goto, 2009; Lopes, 2017; Zuben, 1992);
- A filosofia é desnecessária e pouco prática, ou mesmo, inútil: suas discussões têm um pouco de tudo, sem chegar a nada (Alves, 2013; Lopes, 2017; Matos & Medeiros, 2015; Meucci & Barros Filho, 2009; Tomazetti, 2007; Zuben, 1992);
- A filosofia trata de abstrações ou aspectos transcendentais ou, ainda, ideias formuladas no passado por filósofos já falecidos, distantes da realidade dos estudantes atuais e sem significado para as suas vidas (Gallo, 2007; Lopes, 2017; Matos & Medeiros, 2015; Tomazetti, 2007);
- No caso de estudantes universitários que não cursam Filosofia, mas que possuem tal disciplina em seus currículos, questões como: “O que isso (a Filosofia) tem a ver com o curso que eu faço?” são corriqueiras. No caso de estudantes do Ensino Básico, é corrente a opinião de que a Filosofia em nada contribui para suas futuras profissões (Gelamo, 2007; Lopes, 2017).

Os obstáculos em relação à Filosofia são, em certa medida, compartilhados pela Filosofia da Química. A própria menção ao termo *Filosofia*, na expressão *Filosofia da Química*, aos estudantes traz à tona compreensões prévias como aquelas listadas acima – ainda que os estudantes nada saibam a respeito da Filosofia da Química.

Scerri (2000a) argumentou que químicos desprezam ou, no mínimo, têm indiferença em relação à atividade dos filósofos, inclusive rejeitando a pertinência de aspectos filosóficos em sua atividade. Diante disso, o reconhecimento de uma possível propensão negativa dos estudantes diante da Filosofia da Química pode orientar os professores a conceberem suas aulas, desde o início, com o intuito de justificarem a importância e a finalidade dessa disciplina para a formação dos estudantes.

Acrescentamos, ainda, um obstáculo específico: a tensão entre o *monismo* do ensino tradicional de Química e o *pluralismo*¹⁰⁰ do ensino de Filosofia da Química, em relação às respostas e aos modos de encarar um problema. Na primeira, os problemas químicos são tratados como tendo uma única resposta plausível, ou são passíveis de serem encarados sob uma única perspectiva. Isso resulta, por sua vez, em uma expectativa por parte dos estudantes de uma *única resposta correta*. Em contrapartida, as características plural e aberta da Filosofia da Química e, em especial, a perspectiva educacional de que a pluralidade e a abertura devam ser contempladas em seu ensino, apontam para múltiplas respostas e modos de encarar um problema, inclusive, respeitando e incentivando respostas diferentes e até mesmo divergentes.

Não estamos defendendo aqui alguma forma de relativismo em relação à Química. No caso de problemas pontuais, como a observação de fenômenos químicos, podemos ter, sim, uma única resposta, por exemplo, uma solução aquosa básica torna-se rosa ao acrescentarmos a substância fenolftaleína (nível ontológico). Por outro lado, a explicação do porquê essa solução tornar-se rosa pode variar de acordo com o modelo químico adotado (nível epistemológico). Ainda que essa explicação possa ser consensual na contemporaneidade, a História da Química pode revelar que outras explicações foram formuladas. Não obstante, quando os problemas químicos são contextualizados, o que em geral não ocorre no ensino tradicional de Química, eles estabelecem relações com aspectos que vão além da própria Química, o que implica em diferentes atores, propósitos e perspectivas a se considerar.

Essas considerações são informadas pela Filosofia da Química e pela Educação Química. A tensão entre o monismo de respostas e abordagens do ensino tradicional

¹⁰⁰O *pluralismo* na Filosofia pode ser entendido como uma doutrina que considera o real como múltiplo, irreduzível a um único princípio, enquanto que o *monismo* considera o mundo sendo regido por um único princípio (Japiassú & Marcondes, 2001). No entanto, o significado aqui adotado é outro para esses termos, como descrito no corpo do texto.

de Química e o pluralismo do ensino de Filosofia da Química deve ser reconhecida e enfrentada pelos educadores, que devem oferecer aos estudantes oportunidades para refletir sob essa perspectiva. Não somente uma discussão do porquê a Filosofia da Química ser plural e aberta deve ser empreendida, mas, também, deve ser problematizada a suposição pela qual a Química e seus problemas admitem uma única resposta em todas as situações. Isso envolve conhecimentos tanto da Química quanto sobre a Química (sua história e filosofia).

É importante esclarecer que a lista apresentada acima está longe de abarcar todos os obstáculos, dificuldades e desafios da implementação da Filosofia da Química. Por exemplo, dificuldades relacionadas ao ensino-aprendizagem não são conhecidas. Somente pesquisas empíricas podem revelar em detalhes quais são as dificuldades na aprendizagem, semelhante ao que o Ensino de Química acumulou nas últimas décadas em torno do ensino-aprendizagem de conceitos químicos (Garnett, Garnett, & Hackling, 1995), bem como as potencialidades e limites das metodologias e estratégias utilizadas para seu ensino.

Concluimos esta seção salientando que as considerações feitas sobre o ensino de Filosofia da Química são, em sua maioria, endereçadas a qualquer assunto abrangido por esse campo disciplinar, sendo, assim, de natureza generalista. De um lado, isso é motivado pelo campo a partir do qual as analogias são estimuladas, a saber, a Filosofia. De outro lado, pelo próprio desconhecimento dos detalhes inerentes a todos os possíveis assuntos da Filosofia da Química, bem como do seu ensino. Como argumentado no Capítulo 2 (Natureza da Ciência na Educação em Ciências), abordagens generalistas, ainda que importantes, podem negligenciar as especificidades do que se estuda. Portanto, somente o estudo aprofundado de cada assunto da Filosofia da Química e de seu ensino efetivo em sala de aula pode levar à avaliação da adequação e extensão de tais considerações.

3.4.7. Da Natureza da Química em direção ao *filosofar sobre a Química*

As razões, fundamentos e abordagens do par *ensinar a Filosofia da Química-filosofar sobre a Química*, delineadas anteriormente, nos fornecem subsídios a respeito de como conceituar e tratar o constructo Natureza da Química. A argumentação que se segue se assenta em uma mudança na *terminologia*, na *forma* e no *conteúdo* das discussões *sobre a Química*.

A respeito da *terminologia*, os filósofos e educadores em Química têm utilizado a expressão *Natureza da Química* para circunscrever e abordar as contribuições da Filosofia da Química ao ensino e formação dos estudantes. Além disso, a escolha dessa expressão visa dialogar com uma temática de pesquisa bem estabelecida no âmbito da Educação em Ciências, a *Natureza da Ciência*.

Conforme discutido no Capítulo 2, o termo *natureza* transmite uma ideia de essencialidade, ou seja, um conjunto de características fixas e atemporais. Se tomarmos como referência a História da Ciência, caracterizada por continuidades e rupturas, não há justificativa para supor a existência de tal conjunto de características. Na Filosofia da Ciência, os contínuos debates e posições também não permitem apoiar o uso do termo *natureza* nesse contexto. É verdade que historiadores da ciência e filósofos da ciência muitas vezes utilizam essa expressão. Contudo, o conhecimento e as práticas adquiridos em suas atividades os conduzem a uma vigilância e crítica em relação a quem aponte características fixas e atemporais para a Ciência.

No que concerne à nossa proposta, a pluralidade de perspectivas incentivadas em prol do desenvolvimento de compreensões sobre a Química não pressupõe e não visa alcançar ou tangenciar características fixas e atemporais para a Química. A postura de contínuo questionamento põe em dúvida e sob análise quaisquer tentativas de chegar a respostas fixas e imutáveis. A pluralidade confere legitimidade a pontos de vistas diferentes sobre as características da Química. Por isso, argumentamos em favor do *filosofar sobre a Química*, uma expressão que não comunica uma essência sobre a Química, mas uma *postura*, ou seja, um modo de pensar e agir em relação à Química.

Críticas podem ser dirigidas à expressão *filosofar sobre a Química*. A ênfase reside em uma única disciplina, a Filosofia da Química. Comumente, o constructo *Natureza da Ciência* é concebido a partir de diferentes metaciências, ainda que a importância e presença de aspectos oriundos dessas disciplinas não seja igual entre elas. Não obstante, os aspectos da *Natureza da Ciência* são apresentados como um todo coerente, sem explicitar ou sugerir quais campos metacientíficos estão relacionados a cada aspecto. Nossa proposta reconhece e articula, desde o início, sua relação com o campo disciplinar da Filosofia da Química. A opção por um único viés se justifica pela profundidade almejada e pelo objetivo de desenvolver um campo ainda incipiente no que diz respeito a sua interface com o ensino. No entanto, a

proposta não limita ou impossibilita o diálogo com outros campos disciplinares, como a História da Ciência e a Sociologia da Ciência. Como veremos no próximo capítulo, a História da Química é articulada com a Filosofia da Química para promover a discussão da ética química (que pode ser entendida como um ramo da Filosofia da Química). Além disso, também não temos o intuito de hierarquizar, em ordem de importância, as disciplinas metacientíficas. Todas elas, cada qual com diferentes perspectivas, complementares entre si, contribuem para entender a Ciência.

A *forma* pela qual nossa proposta se estrutura se distingue de listas de enunciados declarativos (ou princípios) consensuais sobre o que é e como funciona a Química. Primeiramente, porque não há consenso sobre tais questões. Segundo, mesmo que existissem (existam), seu emprego na forma de enunciados declarativos oferece o risco de priorizar o produto mais do que processo, levando a abordagens nas quais os estudantes devem apreender as compreensões-alvo ou, pior, memorizá-las, sem problematizá-las. O *filosofar sobre a Química* fundamenta-se na pluralidade de perspectivas, cujo propósito é permitir que os estudantes concebam, a partir delas, suas próprias compreensões, sem que isso implique, necessariamente, em adotá-las como imutáveis.

Em nosso ponto de vista, a melhor forma para produzir discussões nesse sentido é por meio de temas, tal como a maioria das propostas alternativas à abordagem consensual para a Natureza da Ciência têm sugerido. O intuito não é buscar afirmações categóricas em relação ao que é ou não a Química, como ela funciona ou não, típica de abordagens fechadas. Diferentemente disso, os temas se configuram como uma abordagem *aberta*, na medida em que objetivam provocar a crítica e a reflexão sobre a Química.

Os temas, por si mesmos, carregam muitos sentidos. Aspectos como o tempo didático, o nível dos estudantes, a disciplina e o propósito da aula podem dificultar o encaminhamento que será dado. Um modo de selecionar sentidos é articular o tema com questões. O *ensinar Filosofia da Química* e o *filosofar sobre a Química* partem da premissa que problemas devem ser reconhecidos, enunciados e abordados. Esse é elemento crucial para o *filosofar sobre a Química*. Assim, temas devem ser acompanhados de problemas e questões, a fim de possibilitar a crítica e reflexão sobre a Química. As questões também orientam o planejamento da aula pelo professor e, se não todas, boa parte delas devem ser endereçadas explicitamente aos estudantes. A partir das questões propostas pelo professor, os estudantes podem exercitar o

filosofar sobre a Química – para, ao longo do processo, conceberem suas próprias questões.

Temos ciência de que a adoção de temas e questões para promover discussões sobre a Química implica em maiores dificuldades em relação às abordagens fechadas. Abordagens abertas exigem formação adequada, o que também é verdade para abordagens fechadas, e maior tempo de estudo e preparação dos professores. Em cada tema, uma multiplicidade de perspectivas, conceitos e ideias podem estar presentes. Não se espera e mesmo não se recomenda que os professores, os quais não são filósofos da Química, conheçam e dominem em detalhes todas as minúcias de um tema. Contudo, a promoção de um ensino plural sobre o tema exige um conhecimento mínimo sobre ele. Ainda não temos respostas em relação ao grau de imersão exigido para contemplar esse ensino, mas parece claro que ele exige maior estudo e preparação por parte dos professores. Esperamos que pesquisas empíricas voltadas a implementar propostas deste tipo forneçam indícios quanto ao nível de conhecimento mínimo sobre os temas. Além disso, a própria pesquisa na interface Filosofia da Química & Natureza da Química, em nível teórico, pode delimitar o nível de profundidade dos temas, tendo em vista objetivos educacionais.

Finalmente, intimamente relacionado à forma, temos os conteúdos que compõem a proposta. O conteúdo de um tema se refere às abordagens, conceitos, ideias, raciocínios e exemplos utilizados para responder a um problema filosófico particular. Assim, temas diferentes apresentam conteúdos diferentes, devido ao problema filosófico ser distinto. Naturalmente, pode haver, em algum grau, coincidência de conteúdos em temas diferentes, seja de forma direta ou por analogia.

A Natureza da Química, como descrito anteriormente, discutida por educadores e filósofos da Química, pode ser entendida como uma resposta à Natureza da Ciência, ou seja, uma resposta às abordagens de domínio geral. Não se rejeita que as diferentes disciplinas científicas compartilhem semelhanças, no sentido de que uma compreensão possa ser aplicável a mais de uma delas. De modo semelhante, não se desconsidera o papel das abordagens de domínio geral para promover melhores compreensões sobre a Ciência. No entanto, problemas específicos e suas implicações para a Química, a sociedade e o ambiente podem não estar sendo reconhecidos e, conseqüentemente, podem não estar sendo discutidos e enfrentados.

Dessa maneira, a ampliação, reorientação e ressignificação dos conteúdos envolvem uma mudança de enfoque e propósito, pela qual os profissionais de Química

devem desenvolver, *a partir de e sobre* sua disciplina, compreensões próprias do seu campo e, também, compreensões gerais compartilhadas com outros campos. Considerar as duas perspectivas se baseia na fundamentação de que elas são complementares e sinérgicas entre si.

Isso contraria a posição de alguns autores que, embora reconheçam a importância de uma abordagem de domínio específico, entendem que ela deve ser antecedida por uma abordagem de domínio geral. Esta seria internalizada previamente pelos estudantes para, posteriormente, ocorrer o desenvolvimento de visões mais profundas e contextuais, por meio de abordagens de domínio específico. Talvez esse seja o caminho a ser seguido no Ensino Básico. No entanto, a formação de profissionais em uma disciplina científica, em nível superior, exige especificidade e profundidade, que podem resultar em maior familiaridade com o que é estudado ao longo da formação.

Os conteúdos para atingir esse objetivo são oriundos da Filosofia da Química. A articulação desse campo como a fonte dos conteúdos para o *filosofar sobre a Química* deve ser explícita. A pesquisa a respeito da Natureza da Ciência, conscientemente ou não, omitiu ou atribuiu papel secundário às metaciências que alimentaram sua construção. Como resultado, a Natureza da Ciência se tornou autossuficiente e independente em relação às metaciências. Não se pretende rejeitar a especificidade desse constructo, pois é criado por educadores tendo em vista propósitos educacionais. Entretanto, cortar os elos com os campos metacientíficos empobrece o referencial que visa promover melhores compreensões sobre a Ciência. A cisão imobiliza as compreensões, visto que nas metaciências de origem elas continuam vivas e são continuamente criticadas. No âmbito das metaciências, novos modos de encarar um problema podem ser apresentados e, ainda, novos problemas podem ser propostos a respeito da Ciência, até então não considerados. No âmbito do constructo Natureza da Ciência, nem sempre se reconhece quem propôs uma ideia sobre a Ciência, quando e por que o fez, e onde se pode ter acesso a detalhes que vão além do escopo da aula, por exemplo. Em vista disso, a ênfase no *ensinar a Filosofia da Química* pretende explicitar, desde o início, o campo que alimentará as discussões sobre a Química e, em especial, o *filosofar sobre a Química*.

A quantidade e diversidade de conteúdos da Filosofia da Química inviabiliza que todos eles sejam selecionados, justificados, adequados e implementados para promover o *filosofar sobre a Química*. Além disso, não é demais lembrar que o que está sendo proposto aqui visa a formação de químicos, e não de filósofos da Química.

Sendo assim, o que selecionar da Filosofia da Química? A abordagem de Lederman e colaboradores para a Natureza da Ciência adotou o critério de consenso para selecionar os conteúdos das metaciências, ignorando as controvérsias existentes nos campos metacientíficos, por considerá-las inacessíveis, irrelevantes e inapropriadas ao ensino básico. Nossa proposta muda o foco de tais critérios. Primeiramente, nosso foco se situa no Ensino Superior e na formação de profissionais em Química. Além disso, a pluralidade assumida por nós resulta em selecionar pontos de vista diferentes, os quais podem ser complementares ou controversos entre si. A análise das diferentes perspectivas pode, ainda, revelar a existência de consensos, seja no sentido positivo (concordância na plausibilidade de uma ideia) ou negativo (concordância na não plausibilidade de uma ideia). Esses aspectos, em conjunto, são relevantes para o *filosofar sobre a Química*, pois, como argumentamos, o objetivo não é contemplar uma visão unidimensional sobre a Ciência Química, mas, fundamentalmente, promover a crítica e reflexão dos estudantes.

O problema não é mais a respeito de incluir ou não controvérsias. Essa inclusão é um pressuposto da proposta. O problema, ao contrário, é reconhecer quais conteúdos são pertinentes aos estudantes – o que significa dizer que nem todos os conteúdos da Filosofia da Química são relevantes e podem mesmo ser inacessíveis e inapropriados. Não nos parece que seja possível estabelecer critérios *a priori* e universais para definir os conteúdos da Filosofia da Química pertinentes para o *filosofar sobre a Química*. Mesmo que seja possível, não há base teórica e empírica suficiente para isso no momento.

Apesar disso, algumas sugestões gerais podem ser feitas para orientar a caracterização dos conteúdos e suas possíveis implicações educacionais. As seguintes questões podem orientar a avaliação dos conteúdos, considerados na forma de temas: i) De quê trata o tema, isto é, qual o problema filosófico, quais os modos pelos quais o problema tem sido abordado, quais as controvérsias e quais as soluções de cada posição? ii) O tema se relaciona ou pode ser articulado com outros temas da Filosofia da Química? iii) Quais as contribuições específicas do tema para promover melhores compreensões sobre a Química? iv) Os temas podem ser articulados para promover compreensões gerais sobre a Ciência? Se sim, quais compreensões? v) Qual a importância de se discutir o tema na formação dos profissionais em Química? vi) Como o tema se relaciona com, ou quais implicações ele tem em sua futura atividade (química ou docência)? As respostas a tais questões podem fornecer

subsídios preliminares para selecionar ou sugerir os temas pertinentes ao *filosofar sobre a Química*, mas são insuficientes, por não levarem em conta aspectos específicos do processo de ensino-aprendizagem e fatores contextuais.

3.5. *Temas para promover o ensino e o filosofar sobre a Química*

Educadores e filósofos têm selecionado alguns temas discutidos na Filosofia da Química e argumentado em prol de sua pertinência para o Ensino de Química. Esses temas podem fomentar discussões sobre a Química e contribuir com respostas às questões: O que é a Química? Qual(is) sua(a) finalidade? Como ela funciona? Quais as consequências e responsabilidades envolvidas na atividade química? Qual sua relação com a Sociedade?

Um primeiro tema trata do *papel da síntese química e suas consequências (ontológicas, epistemológicas e éticas) para a Química* (Chamizo, 2013; Earley, 2004; Schummer, 1999; Talanquer & Pollard, 2010). A Química realiza, ainda que não unicamente, a síntese e caracterização de substâncias – em especial, de novas substâncias não existentes ou nunca identificadas na Natureza. Artigos em periódicos científicos divulgam essas pesquisas, descrevendo como prepará-las e caracterizando suas propriedades (estrutura e reatividade). Os químicos, assim, criam seus objetos de trabalho, sendo que a produção de substâncias visa, comumente, à produção de outras substâncias.

A preponderância da síntese química como uma das principais atividades realizadas pelos químicos se ampara na observação de que, no início do século XIX, eram conhecidas algumas centenas de substâncias, enquanto que, no final do século XX, contabilizavam-se aproximadamente 19 milhões, das quais a maioria eram substâncias não existentes na Natureza (Schummer, 1999).

Esse vertiginoso aumento – nos últimos 15 anos do século XX, a síntese de novas substâncias superou em número toda a produção anterior em Química – implica que os químicos não conseguem conhecer tudo o que é produzido por sua ciência. Não é possível determinar ou prever *todas* as propriedades de cada uma das novas substâncias. Assim, sua disseminação na Natureza gera problemas éticos, relacionados aos potenciais riscos desconhecidos (Schummer, 1999).

Embora a síntese de novas substâncias seja central na Química, isso não é explicitado em seu discurso oficial, especialmente no que diz respeito aos seus

objetivos e valores. Por exemplo, em cursos introdutórios de Química, sugere-se que qualquer material pode ser compreendido através da análise de seus componentes; porém, o papel da síntese não figura no mesmo patamar de importância (Earley, 2004). As consequências disso são a dificuldade em se compreender a natureza da Química de forma abrangente, o que, por sua vez, pode ser um obstáculo para o ensino. Dado que a compreensão sobre a Química perpassa, dentre outras coisas, a identificação de seus objetivos e valores, se os estudantes não identificam os objetivos e valores dessa ciência, há a possibilidade deles não se interessarem por essa ciência, ou de não compreenderem o que estudam ou fazem, e por que (Schummer, 1999).

Um segundo tema discute *a natureza e papel dos modelos em Química* (Chamizo, 2013; Erduran, 2001; Erduran & Duschl, 2004; Erduran & Mugaloglu, 2014; Gimbel & Wedlock, 2006; Izquierdo, 2013; Justi & Gilbert, 2002; Labarca *et al.*, 2013; Lombardi & Labarca, 2007; Scerri, 2000a; Talanquer & Pollard, 2010). O emprego de modelos tem caracterizado a prática química, não só na atualidade, mas, também, ao longo da História da Química, a qual permite vislumbrar que os modelos são formulados, avaliados, modificados e, em certos casos, abandonados.

Apesar da Educação Química ter produzido, nas últimas décadas, pesquisas em quantidade e diversidade discutindo o papel dos modelos em Química e no ensino, suas bases epistemológicas, finalidades, dificuldades relacionados ao seu ensino e aprendizagem¹⁰¹, etc., ainda são pouco discutidas no âmbito da Natureza da Ciência. No entanto, a disseminação dos modelos na prática química e no ensino confere a eles uma relevância que não pode ser omitida se o que se deseja é compreender como a Química funciona. Esse tema é relevante para que os estudantes possam compreender que os químicos contribuem para a sua ciência por meio da formulação de modelos para explicar padrões nos dados que eles coletam, sendo importantes na aceitação e disseminação dos produtos da investigação em Química (Erduran, 2001; Justi & Gilbert, 2002).

¹⁰¹Erduran (2001) apresenta, por exemplo, uma lista de tendências, dificuldades e compreensões pouco elaboradas relacionadas ao ensino e aprendizagem de modelos no Ensino de Química. Entre elas, está a concepção de que os modelos são cópias fiéis da realidade e, por isso, se constituem em compreensões finais e únicas a respeito da matéria. Entre as dificuldades envolvidas no ensino, Erduran (2001) destaca que não se discute explicitamente *quando e porquê* os modelos são utilizados, e de que modo diferem uns dos outros; além disso, há ênfase na teoria em detrimento do papel dos modelos nesse cenário. Outro problema reside no fato de que a experimentação química raramente é traduzida em atividades por meio das quais os modelos químicos são desenvolvidos.

Um terceiro tema aborda a *natureza e papel das explicações em Química* (Erduran & Mugaloglu, 2014; Gimbel & Wedlock, 2006; Scerri, 2001). A Química consiste em dar explicações para uma grande diversidade de transformações e substâncias, para as quais delimitam-se classes. Assim, os químicos frequentemente se orientam no sentido de fornecer explicações a partir de um nível específico em direção a um nível geral, onde há o convívio entre grupos gerais.

O estatuto das explicações químicas é discutido no âmbito de um tema mais amplo, a saber, o *realismo químico* (Erduran & Mugaloglu, 2014; Lombardi & Labarca, 2007; Scerri, 2000a). Por exemplo, a formação de ligações, o comportamento ácido-base, a química redox, a fotoquímica e os estudos de reatividade são todos discutidos regularmente com referência à transferência de elétrons entre os vários tipos de orbitais. Enquanto um grupo de filósofos da ciência admite que, segundo a mecânica quântica, orbitais não podem ser observados, na Química os orbitais são empregados em boa parte das explicações em um sentido realista, o que lhes confere a natureza de uma explicação de nível específico – isto é, são explicações antirrealistas no nível da mecânica quântica, mas realistas no nível da Química (Rozentalski, 2013). No entanto, posições que contemplam a possibilidade de observar os orbitais também são identificadas e, por consequência, esse tema privilegia diferentes perspectivas em relação ao estatuto das explicações químicas.

Um quarto tema, a *natureza e papel das leis químicas*, também tem sido apresentado como pertinente ao ensino (Erduran, 2007; Erduran & Mugaloglu, 2014; Tobin, 2013). Como vimos anteriormente, alguns filósofos da Química, bem como educadores, têm argumentado que as leis na Química se diferenciam das leis naturais de outros ramos da ciência. De fato, uma parte importante do conhecimento químico abrange o estudo dos padrões de variação que ocorrem dentro dos grupos da tabela periódica, isto é, a natureza aproximada da repetição de propriedades dos elementos impulsiona os químicos a investigarem como se dá essa variação. Longe de ser um problema, a periodicidade aproximada criou âmbitos de investigação para a pesquisa em química. Por conta disso, as previsões feitas a partir da lei periódica não são deduzidas a partir de uma teoria no mesmo sentido que as previsões idealizadas a partir das leis físicas.

Do ponto de vista educacional, essas discussões a respeito da caracterização da lei periódica permitiriam deslocar a compreensão dos estudantes de um instrumento meramente taxonômico em direção à promoção da compreensão de que a lei

periódica é um modo de raciocínio característico da Química, que orienta a pesquisa e o ensino de Química.

O significado epistemológico das leis científicas, como visto no Capítulo 2, tem sido discutido no âmbito da Natureza da Ciência. Assim, a Filosofia da Química poderia ampliar essas discussões ao abordar uma lei caracteristicamente química. Além disso, sua compreensão poderia engendrar melhores compreensões dos próprios conteúdos da Química (Erduran, 2001; Erduran & Mugaloglu, 2014; Lombardi & Labarca, 2007; Scerri, 2000a, 2001).

Os modos de pensar/conhecer/raciocinar e operar da Química envolvem o trânsito entre o macroscópico e o submicroscópico. Essa condição característica da Química tem gerado discussões relacionadas a um quinto tema de interesse para o ensino: o da *superveniência* (Erduran *et al.*, 2007; Erduran & Mugaloglu, 2014; Newman, 2013). A questão da superveniência se refere à relação assimétrica que há entre os níveis macroscópico e submicroscópico, podendo ser assim resumida:

Dois sistemas macroscópicos que foram construídos a partir de componentes microscópicos idênticos devem apresentar propriedades macroscópicas idênticas, enquanto que a observação de propriedades macroscópicas idênticas, em quaisquer dois sistemas, não implica necessariamente em identidade no nível microscópico¹⁰² (Erduran *et al.*, 2007, p. 978).

A discussão desse tema se justifica, principalmente, por dificuldades de aprendizagem comumente identificadas em pesquisas na área de Ensino de Química. Observa-se que os estudantes não conseguem transitar facilmente entre os níveis macroscópico e submicroscópico. Por exemplo, muitos estudantes não distinguem entre as propriedades de uma substância – nível macroscópico – e as propriedades atribuídas a um único átomo isolado – nível submicroscópico (Newman, 2013). Promover o tema da superveniência permite explorar, por exemplo, as relações entre, de um lado, cheiro, cor e textura, e, do outro, propriedades submicroscópicas como estrutura molecular e ligações químicas.

¹⁰²A autora prefere utilizar o termo *microscópico*; contudo, optamos pelo termo *submicroscópico*, por entender que a escala da Química se dá abaixo do nível microscópico. Este pode ser associado ao instrumento óptico, cuja ampliação alcança a faixa dos micrometros (10^{-6} m). O tamanho de um átomo é da ordem de angström (10^{-10} m), e o das moléculas, da ordem de nanometros (10^{-9} m) (Chang & Goldsby, 2013).

Em vista disso, diversas questões envolvendo, por exemplo, o conceito de “água” podem ser discutidas em sala de aula no âmbito do tema da superveniência (Erduran & Mugaloglu, 2014). Seguem-se exemplos de questões:

- Existe relação entre as propriedades físicas da “água” (por exemplo, temperatura de ebulição de 100°C) e as características estruturais de “H₂O” (por exemplo, ângulo de ligação de 104,5 graus)? Como seria essa relação?
- Podem as propriedades macroscópicas ser reduzidas às propriedades submicroscópicas?
- Como podemos justificar a afirmação: “água não é H₂O”?

Um sexto tema, que atravessa boa parte dos temas citados até aqui, se refere ao *reducionismo* (Bengoetxea, 2004; Erduran, 2005; Erduran & Mugaloglu, 2014; Gimbel & Wedlock, 2006; Jones & Jacob, 1999; Labarca *et al.*, 2013; Lombardi & Labarca, 2007; Scerri, 2000a, 2000b, 2001; Thalos, 2013). O *reducionismo* envolve discussões acerca do estatuto da Química em relação às outras ciências da Natureza, em especial, a Física. De maneira semelhante ao que ocorre em relação ao realismo químico, existem diferentes perspectivas na Filosofia da Química diante do *reducionismo*. Apesar disso, existe um consenso entre filósofos e educadores da Química referenciados neste parágrafo em torno da autonomia da Química em relação à Física no contexto do ensino.

Segundo esses autores, a perspectiva *reducionista* da Química em relação à Física teve grande impacto na Química e Ensino de Química, o que é evidenciado, ainda que implicitamente, pelo emprego de princípios físicos para explicar a estrutura atômica e o sistema periódico. No contexto do ensino, tal perspectiva refletiria na ênfase no ensino das teorias físicas, como, por exemplo, a mecânica quântica, e em aspectos quantitativos, relegando a segundo plano os aspectos qualitativos dos processos químicos e a diversidade de fenômenos químicos observados. Por conta disso, discussões a respeito do *reducionismo* visam equilibrar os princípios unificadores, baseados na Física, com os aspectos mais qualitativos e descritivos em torno das substâncias e reações químicas.

A partir do tema *reducionismo*, as seguintes questões podem ser colocadas em discussão, novamente recorrendo ao conceito de “água” – em especial, considerando a composição, estrutura e ligações químicas presentes nessa substância:

- H₂O tem a mesma composição química que a água?

- Poderia uma única molécula de água entrar em ebulição a 100° C?
- H₂O é a mesma coisa que água?
- Podem as experiências sensoriais da água como um líquido incolor e do gelo como um sólido branco ser reduzidas a H₂O?

Finalmente, destacamos a *ética química* como um sétimo tema, o qual tem sido um dos mais discutidos e recomendados na interface Filosofia da Química & Ensino de Química (Chamizo, 2013; Erduran, 2009; Eriksen, 2002; Jones & Jacob, 1999; Labarca *et al.*, 2013; Sjöström, 2013; Vilches & Gil-Pérez, 2013). A relevância de discussões dessa natureza para o ensino baseia-se na perspectiva de tornar os estudantes aptos a avaliar, justificar e tomar decisões sobre questões científicas e químicas, bem como, em última instância, desenvolver cidadãos críticos e reflexivos, cujas ações são deliberadas e apropriadas. Isso requer a discussão de riscos e incertezas, bem como competências para avaliar, balancear e estimar benefícios e riscos relacionados à Química (Erduran, 2009; Sjöström, 2013).

Abordar explicitamente questões de natureza ética justifica-se pela sociedade de risco em que vivemos, caracterizada pelo aumento da complexidade e pelas consequências imprevisíveis da produção e inserção na Natureza de inovações técnico-científicas. Desse modo, os químicos precisam estar cientes de sua corresponsabilidade por todos os possíveis danos causados por suas criações. Químicos profissionais devem ter claro que a produção do conhecimento científico não pode ser separada de suas aplicações, e que esses dois aspectos estão relacionados às responsabilidades éticas dos cientistas (Sjöström, 2013; Vilches & Gil-Pérez, 2013).

Os sete temas delineados aqui abrangem grande parte do que tem sido discutido e recomendado pela interface Filosofia da Química & Ensino de Química. No âmbito da Filosofia da Química, outros temas têm sido discutidos, tais como: o papel da teoria, da experimentação, da instrumentação e da matemática na Química; aspectos específicos acerca dos modelos, como a natureza e o papel da estrutura molecular na Química, e a natureza e o papel de suas representações; diferentes perspectivas acerca da tabela periódica; as relações entre Química, Mecânica Quântica e Química Quântica; e análises filosóficas de conceitos químicos como ligação química, simetria, propriedade química, elemento químico, etc. Esses temas podem vir a ser articulados no contexto de um ou mais temas elencados ao longo desta seção. Recorrer aos diversos objetos em estudo no âmbito da Filosofia da Química, a fim de alimentar a

discussão sobre a Química, deve envolver o estabelecimento de critérios para a sua seleção e justificativas para integrá-los.

Nesta tese, optamos por aprofundar o tema *ética química* como meio de promover a crítica e a reflexão sobre a Química. Mais do que pela recorrência com que esse tema tem sido recomendado para a formação em Química, nossa escolha se sustenta fundamentalmente pelos seguintes motivos: i) *transversalidade do tema*, isto é, ele não se fecha em si mesmo, mas requer a relação com temas, disciplinas e contextos para adquirir sentido e significado; ii) *promove a Filosofia da Química*, na medida em que, para caracterizar a “ética química” como algo diferente da ética geral ou ética científica, precisamos entender, previamente, o que é próprio da atividade química, um dos objetivos da Filosofia da Química; iii) constitui-se em uma *perspectiva complementar* aos aspectos epistemológicos e ontológicos contemplados pelos outros temas mencionados, os quais também podem ser considerados em uma decisão ética; e iv) *confere sentido à crítica e reflexão sobre a Química*, fundamentando e orientando a transformação das formas de pensar e agir estabelecidas entre os químicos. Tendo delineado isso, no próximo capítulo são discutidos os vários aspectos envolvidos em torno da ética química e seu ensino.

CAPÍTULO 4 – ÉTICA QUÍMICA

4.1. Apresentação

A Ética Química é o estudo crítico e reflexivo dos problemas éticos associados com ou decorrentes da atividade química. Esse é um dos temas abordados pela Filosofia da Química, e sua repercussão nessa área pode ser estimada pelos artigos que constam de três edições especiais dedicadas inteiramente ao assunto, publicadas pelo periódico *Hyle* nos últimos 15 anos (Børsen & Schummer, 2016; Schummer, 2001a, 2002)¹⁰³. Seguindo essa tendência, a promoção de discussões explícitas no ensino sobre aspectos éticos presentes na atividade dos químicos também tem sido amplamente defendida pelos autores da interface Ensino de Química & Filosofia da Química (Chamizo, 2013; Erduran, 2009; Eriksen, 2002; Jones & Jacob, 1999; Labarca *et al.*, 2013; Sjöström, 2013; Vilches & Gil-Pérez, 2013). Neste capítulo, apresentamos fundamentos breves sobre o que é ética; como esses aspectos estão presentes na ciência, em geral, e na Química, em particular, no sentido de caracterizar problemas éticos próprios dessa disciplina; justificativas para se promover discussões explícitas e formais sobre esse tema para a formação de cientistas em geral e químicos em particular; e sugestões de como a inserção dessa temática no ensino pode ser feita.

4.2. O que é ética?

A palavra ética pode assumir diferentes significados de acordo com o referencial adotado e o contexto ou situação na qual ela é empregada. Apresentamos aqui seu significado *etimológico*, no *quotidiano*, na *Filosofia* e, por fim, na *ética profissional*.

Como primeira abordagem, podemos encarar a palavra em termos de sua etimologia: do grego *ethos*, isto é, *caráter* ou *costume*. Comumente, no discurso do cotidiano, a palavra ética é empregada como sinônimo de *moral*. Em termos etimológicos, esta palavra provém do latim *mores* e também pode ser entendida como

¹⁰³Uma quarta edição especial sobre a temática está prevista para o ano de 2017 (Børsen & Schummer, 2016).

costume. Em contextos informais, o emprego equivalente de ética e moral em geral destaca os padrões de conduta ou normas sociais seguidas pelas pessoas que vivem em uma sociedade (Kovac, 2004). Ainda nesse âmbito, ser ético ou ter moral pode ter o intuito de indicar pessoas que possuem comportamentos e tomam decisões em prol do bem comum e, por consequência, são exemplos de condutas a serem seguidas por outras pessoas, a fim melhorar a convivência entre elas.

Ainda que, no discurso coloquial, moral e ética possam ser empregadas como sinônimos, no âmbito da Filosofia se procura distingui-las. Davis (2002) argumenta que a ética envolve um padrão de condutas que as pessoas devem ou podem seguir, enquanto a moral consiste nos padrões que elas *de fato* seguem. A compreensão preliminar de Davis (2002) deve ser esclarecida, pois sugere que condutas morais não podem ser prescritas. Por isso, ampliamos sua ideia acrescentando que uma conduta moral é recebida por uma pessoa pertencente a uma sociedade, o que resulta em diferentes códigos morais de acordo com as sociedades em questão, e constituem padrões estáveis de conduta a serem seguidos. Assim, o “seguem de fato”, relacionado à moral, e o “devem seguir”, relacionado à ética, visam distinguir, respectivamente, entre condutas adotadas por obrigação, tradição ou hábito, de ações escolhidas de maneira consciente e refletida.

A moralidade envolve, ainda, um padrão universal mínimo a respeito do que é certo e errado (Davis, 2002)¹⁰⁴. Por exemplo, evitar causar danos ou fazer mal a alguém, não mentir e contar a verdade, etc. A ética, por sua vez, busca ir além desse padrão mínimo, no sentido de prescrever o que é *bom moralmente*. Por conta disso, a ética é um padrão de escolhas e decisões consciente e deliberado, que um ser humano empreende em sua relação com outras pessoas, com a Natureza, com Deus, etc. (Del Re, 2001).

Não se deve perder de vista que a ética pode mudar com o tempo, de modo que certo padrão de escolhas para uma situação, igual ou semelhante, em diferentes épocas, pode diferir. A dinamicidade das relações humanas pode gerar uma

¹⁰⁴Del Re (2001), diferentemente de Davis (2002), considera que a moral se associa mais a critérios do tipo *bom* ou *mau* do que a critérios de *certo* ou *errado*, os quais estariam mais próximos da ética. De nossa parte, entendemos que esses adjetivos são utilizados, muitas vezes, como sinônimos no discurso informal, ou seja, *bom* como sinônimo de *certo* e *mau* como sinônimo de *errado*. Ainda que a distinção possa ser feita, não aprofundaremos a questão, considerando que nosso interesse é trazer uma base mínima da ética geral para as discussões da ética na ciência e na Química.

reavaliação da ética vigente, devido ao surgimento de novas práticas sociais, novos conhecimentos (filosóficos e científicos), novas tecnologias, etc.

A dimensão consciente e refletida da ética resulta em um outro significado: um ramo de conhecimento da Filosofia, interessado nos valores relacionados à conduta humana, com respeito à correção ou incorreção de certas ações e à bondade e maldade dos motivos e fins de tais ações (Davis, 2002; Del Re, 2001). Por exemplo, podemos seguir regras morais recebidas pela sociedade como “não minta”, ou “conte a verdade”, sem que isso seja acompanhado dos motivos para agir de tal modo. No âmbito da Filosofia, o que fundamenta essa ação (individual e social) é problematizado, bem como as possibilidades de ações e suas consequências.

A análise empreendida pela Filosofia, acerca dos detalhes referentes à vida moral e seus contextos, é sistematizada na forma de teorias éticas, que procuram fornecer tanto explicações quanto guias para o comportamento. Assim, as teorias éticas podem assumir formas *normativas*, com as quais se busca descobrir e justificar os padrões gerais de comportamento que devem ser aceitos e aplicados em situações específicas; e *não-normativas*, caracterizadas pela análise das crenças e condutas morais de situações específicas, no sentido de compreender a linguagem, conceitos e métodos de raciocínio subjacentes (Kovac, 2004).

De maneira geral, pode-se dizer que a ética compreende duas grandes escolas filosóficas, a saber, a *deontológica*¹⁰⁵ e a *consequencialista*¹⁰⁶. Em cada uma dessas perspectivas há variações e, por consequência, diferentes possibilidades de entendimento, além das apresentadas aqui. Em uma situação real, apenas uma das teorias éticas não abrangeria todas as sutilezas e complexidades de uma decisão ética, mas o que se pretende aqui é apenas ilustrar, em termos amplos, possíveis modos de avaliar decisões éticas.

De acordo com a perspectiva deontológica, os princípios ou regras de conduta devem ser seguidos independentemente de suas consequências. Desse modo, a avaliação da melhor ação ou decisão é feita em termos do dever, sem considerar os fins envolvidos. Isso pode ser ilustrado pelo exemplo hipotético de uma pessoa que não mente em nenhuma situação, mesmo quando a mentira pode resultar em benefícios significativos. Sua perspectiva seria deontológica, pois essa pessoa toma

¹⁰⁵O significado etimológico do termo *deontologia* é “estudo dos deveres”.

¹⁰⁶Schramm (1998) apresenta como sinônimo de consequencialista a expressão *teleológica*, cujo significado etimológico do termo é “estudo dos fins”.

suas decisões com base em princípios ou regras morais sem levar em conta as consequências. Essa perspectiva sugere que existem regras morais baseadas em padrões absolutos. Naturalmente, a aderência irrefletida a essas regras pode gerar consequências indesejáveis; por exemplo, quando mentir ou romper uma promessa pode salvar uma vida (Kovac, 2004).

A segunda perspectiva é a consequencialista, que avalia as ações como boas ou ruins considerando suas consequências, e não os motivos de seus autores. A melhor ação será aquela que proporciona as melhores consequências para as pessoas afetadas por ela. A partir da situação ilustrada anteriormente, um consequencialista argumentaria que, em certos contextos, mentir é moralmente justificado pelo fato de produzir um bom resultado (Kovac, 2004). A avaliação das consequências também pode abranger as consequências sociais de determinada ação. Isso se torna extremamente relevante e complexo, pois tensões podem surgir na avaliação das consequências individuais e sociais, por exemplo, quando a decisão é benéfica para uma das partes, mas prejudicial para outra.

Por fim, a ética pode ser entendida em termos da *ética profissional*, isto é, dos códigos formais e informais que regulam uma dada profissão e orientam os profissionais na tomada de decisões. Nesse contexto, o emprego do termo *ética* associado a *profissional* visa destacar que diferentes profissões possuem diferentes éticas (Del Re, 2001; Kovac, 2006). A seguir, a ética profissional é detalhada visando explicitar sua relação com a *ética científica*.

4.3. A *ética profissional*

Uma profissão pode ser sinônimo de ocupação, isto é, uma atividade definida, em parte, por um corpo de conhecimentos, habilidades e julgamentos facilmente reconhecíveis. Em uma profissão, um grupo de pessoas se compromete a ganhar a vida de maneira organizada e por livre escolha (Davis, 2002).

Cada profissão envolve um contrato social que rege tanto as interações entre os profissionais a ela pertencentes (interações internas) quanto as interações destes com a sociedade (interações externas), podendo ser um contrato tácito ou formalmente firmado. Os membros de uma profissão devem concordar a respeito do código interno que regula a prática, e negociar a relação entre sua profissão e a sociedade. O

contrato interno envolve vários elementos, tais como: padrões de educação e treinamento de futuros profissionais¹⁰⁷; certificação formal ou informal, ou procedimentos de licenciamento para o exercício da profissão; códigos da prática, o que pode incluir, dentre outras coisas, um *código formal de ética*, isto é, um conjunto de regras específicas de conduta moralmente permitidas para orientar o trabalho, e que se aplicam a todos os membros da profissão (Davis, 2002; Kovac, 2006).

Os códigos éticos de uma profissão aparecem, geralmente, em documentos oficiais da comunidade, como, por exemplo, em documentos de admissão, sendo, por isso, uma característica central e específica de cada profissão¹⁰⁸. Essa particularidade não significa que ela seja inconsistente com a moral e ética universais; ao contrário, se orienta por elas, mas vai além. Assim, algumas das responsabilidades implicadas vão além das demandas da lei, do mercado e da moralidade comum (Davis, 2002; Kovac, 2004, 2006).

O contrato entre uma classe profissional e a sociedade se fundamenta no fato de que uma profissão é um corpo especializado de conhecimentos, o que a torna inacessível ou de difícil domínio para a maioria da população. Assim, a sociedade concede a cada classe de profissionais o monopólio das atividades de seu domínio, ao mesmo tempo em que espera que cada classe use seus conhecimentos e habilidades para servir à própria sociedade. Além disso, a sociedade pode solicitar julgamentos profissionais à comunidade de especialistas, por exemplo, em uma disputa judicial na qual um parecer técnico é necessário para julgar um caso (Kovac, 2006).

Os contratos interno e externo consolidam-se por meio da confiança entre as partes: os profissionais confiam no relato de outros profissionais, por exemplo, em situações em que eles próprios não podem realizar os procedimentos relatados por outro profissional; assim como a sociedade confia nos julgamentos do especialista, devido a seu domínio de conhecimentos e habilidades inacessíveis para a maioria da população. Em ambos os casos, há uma relação de dependência epistêmica entre as

¹⁰⁷Kovac (2006) esclarece que, mesmo quando não há padrões formais escritos, existe uma concordância informal mínima em relação ao que compreende uma educação aceitável em qualquer campo profissional.

¹⁰⁸No Brasil, os profissionais da Química tomam contato com seus códigos de ética no momento da expedição da habilitação de atuação profissional pelos Conselhos Regionais de Química. O Conselho Federal de Química, a partir de congressos com conselheiros federais e regionais de Química, promulgou em 1970 o *Código de Ética dos Profissionais de Química*, ainda em vigor. Esse documento encontra-se em: <http://www.cfq.org.br/co927.htm>. Acesso em 11 de mar. 2017.

partes, pela qual o que é dito ou feito baseia-se no caráter moral do outro. Por exemplo, eu sou químico, mas conheço pouco ou quase nada de biologia. Em certa ocasião, me deparo com um problema do campo da biologia. Para resolvê-lo, recorro a artigos e livros escritos por biólogos. Não tenho formação ou habilidade para avaliar pormenorizadamente os detalhes dos argumentos presentes nesses textos; apesar disso, eu confio em muito do que é dito, isto é, aceito o testemunho dos profissionais da área como verdadeiro (Kovac, 2006).

Isso leva a uma relação de poder desigual: de um lado, o que detém conhecimento – o especialista – e, do outro, o que não detém – outro especialista ou não especialista, mas que confia no detentor do conhecimento. Naturalmente, a assimetria entre especialistas é menor do que a assimetria existente entre especialistas e leigos, por conta da diferença nos conhecimentos e experiências profissionais. Ainda assim, em linhas gerais, cada um possui responsabilidades éticas específicas: especialistas devem ser cuidadosos em relação ao que dizem, e outros especialistas ou não especialistas devem ser cuidadosos ao avaliar e usar a informação que recebem (Kovac, 2006).

Os serviços que a sociedade espera de uma dada profissão dependem, ainda que não somente, do ideal moral da profissão. Cada profissão possui ideal moral próprio, visando contribuir para um estado de coisas que todas as pessoas possam reconhecer como bom. Por exemplo, na advocacia existe o ideal de justiça perante a lei; na medicina, o ideal é a busca pela cura dos pacientes, por protegê-los de doenças e aliviar seu sofrimento. O ideal deve ser buscado abertamente pelos membros de uma dada profissão, de maneira que o código interno da prática e o código de ética se orientam no sentido de buscar esse ideal (Davis, 2002; Kovac, 2006).

A partir dessa visão geral sobre como a ética profissional é articulada em cada profissão, na próxima seção se discute como ela ocorre na atividade científica. O intuito é discutir aspectos éticos que se apliquem às diferentes disciplinas científicas. Por esse motivo, não discutiremos, por exemplo, aspectos a respeito da *bioética* devido a suas reflexões centrarem-se especialmente nas ciências da vida e da saúde. A bioética trata de casos nos quais há conflitos morais relacionados à saúde e à doença de seres humanos e animais (Diniz & Guilhem, 2002). Assim, são temas da bioética a experimentação humana, o controle comportamental, a engenharia genética (por exemplo, a clonagem), a saúde reprodutiva (por exemplo, o aborto), o transplante e doação de órgãos, a eutanásia, entre outros (Diniz & Guilhem, 2002; Diniz & Sugai,

2008). Vale destacar que essa temática encontra-se madura em termos do número de eventos científicos, publicações, documentos nacionais e internacionais, e de disciplinas acadêmicas preocupadas com suas questões (Dallari, 1998). Existe uma vasta literatura a respeito da bioética, incluindo trabalhos em português (Costa & Diniz, 2001; Costa, Garrafa, & Oselka, 1998; Diniz & Guilhem, 2002; Diniz & Sugai, 2008; Guilhem & Diniz, 2008).

4.4. A ética científica

A ética científica, entendida como ética profissional, é parte integrante da ciência. Questões éticas surgem corriqueiramente na prática da ciência e na relação entre ciência e sociedade. Como sugerido anteriormente, a ética científica deve ser discernida da moral e ética mais amplas, as quais são aprendidas por influência de familiares, religiosos, professores, etc. – em suma, por todos aqueles que contribuem para o amadurecimento de um indivíduo. Pressupõe-se, ou espera-se, que todos os cientistas tenham bem desenvolvida essa moralidade mais ampla (Kovac, 2006). Por outro lado, a ética científica só pode ser aprendida no contexto da prática científica profissional.

Os futuros cientistas aprendem, ao longo de sua formação, a partir do exemplo de cientistas mais experientes, regras morais específicas que governam a prática científica. Aos poucos, os iniciados nas ciências aprendem que:

1. Procedimentos experimentais e teóricos devem ser relatados precisamente, para que investigadores independentes possam reproduzir o trabalho, se assim o desejarem;
2. Os relatos devem ser completos e corretos, e os limites de erro, descritos. Não se espera que cientistas suprimam dados que não concordam com suas expectativas;
3. A interpretação dos dados deve ser feita objetivamente. Expectativas anteriores não devem interferir na análise dos dados, e fatores não-científicos, como política ou expectativas de agências de fomento, não devem influenciar a análise;
4. O crédito deve ser dado quando for devido. Espera-se que cientistas citem trabalhos anteriores quando apropriado, e deem crédito aos que ajudaram na pesquisa. Por outro lado, se pressupõe que todos os autores de um trabalho científico contribuam para a pesquisa (Kovac, 2006, p. 161).

Comumente, estas regras que governam a prática científica são encaradas apenas em termos técnicos pelos cientistas; no entanto, elas envolvem tanto aspectos

epistemológicos quanto éticos. Em todas as situações mencionadas, bem como em outras que serão descritas mais adiante, os cientistas se tornam responsáveis por suas ações. Nesse contexto, se entende a responsabilidade como “uma disposição ou obrigação de justificar as ações de alguém a uma instituição e, assim, aceitar seus padrões de discurso moral” (Schummer, 2001b, p. 106). Dessa forma, em qualquer decisão tomada por um cientista, há uma relação causal entre eventos e seu agente, ou seja, os cientistas respondem por suas ações e as justificam de acordo com seu discurso moral. Schummer (2001) esclarece que considerar alguém como responsável por algo, ou assumir a responsabilidade por algo, não resulta imediatamente em julgamento moral a respeito das ações desse agente. Eventualmente, essas ações poderão ser avaliadas em um segundo momento, com o intuito de se determinar se um dado agente é “culpado” ou “inocente”.

Um primeiro âmbito de problemas éticos pode ocorrer na ciência quando o ideal moral da profissão é quebrado ou desvirtuado pelo cientista. Nessa profissão, o ideal moral, diferentemente de profissões tradicionais e bem-estabelecidas, como a medicina e a advocacia, não é reconhecido e enunciado de maneira simples e direta. Uma possível causa dessa diferença é a recente profissionalização do cientista (se comparado ao médico e ao advogado), que se consolida ao longo do século XIX (Crosland, 1975; Turner, 1971). Outra causa seria a dificuldade epistemológica de se definir e explicitar o que é o empreendimento científico. Assim, diferentes ideais morais podem ser identificados para os cientistas, de acordo com a corrente filosófica adotada. Na literatura, os seguintes ideais morais são reconhecidos¹⁰⁹: o *hábito da verdade*, que levaria cientistas a buscar e comunicar conhecimento verdadeiro (Kovac, 2004); a *busca pelo conhecimento* (Del Re, 2001); e a proposição de uma *visão nova e original do mundo*, seja em nível global ou local (Laszlo, 2001). Os dois primeiros ideais, ainda que enunciados de modos diferentes, abrangem o mesmo propósito, enquanto o último complementa os anteriores no sentido de apontar que não se almeja qualquer conhecimento, mas o que seja novo e original.

Tendo isso em vista, podemos concluir que um ideal moral da ciência é a produção de conhecimento verdadeiro, novo e original, o que engloba adquirir novos resultados,

¹⁰⁹Certamente, outros ideais morais orientam a atividade científica, tácita ou explicitamente. Por exemplo, a partir do código de ética dos profissionais de Química, podemos inferir que um dos ideais morais dessa profissão é promover o *bem-estar da humanidade*. Isso pode ser estendido às demais profissões relacionadas à ciência. Destacamos no corpo do texto apenas os mais mencionados na literatura.

comunicá-los e ensiná-los para a comunidade científica, sendo este um dever profissional e moral do cientista. Por consequência, qualquer trabalho que não resulte na verdade (ainda que a própria verdade seja um valor metafísico transcendente inacessível), ou que não seja original, é “moralmente errado” (Laszlo, 2001). Traduzimos aqui, de maneira fiel, a expressão utilizada por Laszlo. Contudo, considerar a não produção de conhecimento novo e original como moralmente errado sugere uma equivalência entre a ética científica e a moralidade comum. Como já descrito, elas são diferentes e, principalmente, a busca do cientista não faz parte da moralidade comum. Por conta disso, o uso dessa expressão deve ser reavaliado, buscando termos que expressem esse ponto de maneira mais precisa.

A deturpação do ideal científico ocorre comumente de três modos, os quais têm sido, nos últimos anos, mais divulgados e discutidos pela comunidade científica, e são identificados como casos de más condutas científicas. A primeira forma de deturpação é o *plágio*, que consiste em tomar palavras ou ideias de outros como se fossem suas próprias, não conferindo o devido crédito a quem as produziu. O segundo modo é a *falsificação de resultados*, que envolve alterar os dados obtidos pela observação ou experimentação por meio da mudança, acréscimo ou omissão de dados ou valores. O terceiro tipo de má conduta é a *fabricação de resultados*, isto é, produzir dados ou resultados sem que estes tenham sido fruto de observação ou experimentação (Stemwedel, 2016).

Em situações como essas, o cientista não está comprometido com a comunicação da verdade e, por consequência, com o ideal moral da profissão. O rompimento é deliberado e justifica-se por um benefício individual, mesmo que envolva consequências negativas ao social (demais cientistas e sociedade). Por exemplo, uma forma de adquirir reconhecimento acadêmico ocorre quando um cientista tem o seu próprio trabalho (artigos, monografias, livros, etc.) explicitamente reconhecido e utilizado por seus pares. É desse reconhecimento acadêmico que outras formas de reconhecimento derivam, como o lucro econômico proveniente de atividades relacionadas à ciência e tecnologia; o avanço na hierarquia ou nas posições de poder ocupadas pelo cientista; e o maior acesso ao capital humano (isto é, mais estudantes podem procurar o cientista) e material (isto é, ampliação das possibilidades de financiamento) (Merton, 2013). Em vista disso, praticar deliberadamente o plágio envolve adquirir reconhecimento à custa de outro cientista (benefício individual), privando este de reconhecimento (consequência social negativa).

O rompimento com esse ideal moral enfraquece a confiança nos resultados científicos, entre os cientistas, e entre o público e a ciência. Essa perda de confiança reside em um nível simbólico, mas há consequências materiais e concretas, como o desperdício do dinheiro investido na pesquisa e na tomada de decisões que causam danos pessoais ou dano público. Um exemplo disso seria a aplicação de um tratamento médico ou um fármaco resultantes da fabricação ou falsificação de resultados (Oliveira, 2015; Steneck, 2006).

Ao analisar essas condutas, não se pode perder de vista a complexidade envolvida na atividade científica. Em situações reais, pode ser difícil discernir entre casos de má conduta científica e casos que são de outra natureza. Portanto, tais situações devem ser encaradas com cuidado, a fim de se avaliar se o erro é fruto dos resultados ou das pessoas. O insucesso em reproduzir experimentos publicados na literatura não implica, necessariamente, em má conduta científica dos cientistas que os comunicaram pela primeira vez. Cientistas de outros laboratórios naturalmente podem enfrentar dificuldades, por não possuírem o mesmo domínio das técnicas experimentais utilizadas pelos primeiros cientistas que comunicaram os resultados, e por isso podem não obter os resultados descritos. Nem por isso os cientistas que relataram os resultados devem ser considerados, necessariamente, como indignos de confiança. Além disso, o conhecimento publicado na literatura científica não deve ser considerado definitivo e imutável. Pesquisas posteriores podem revelar novos efeitos, melhorar as interpretações de antigos resultados, apontar as limitações dos métodos experimentais empregados, ou mesmo apontar erros nos trabalhos. Esses desdobramentos não significam, necessariamente, má conduta científica nos trabalhos iniciais, podendo ser fruto de ignorância ou erro dos cientistas (Bauer, 2002)¹¹⁰.

Ainda que os casos de fabricação, falsificação e plágio sejam importantes, a ética científica não se restringe a eles. Existe uma ampla variedade de más condutas e práticas de pesquisa questionáveis, como, por exemplo: apresentar resultados ou tomar decisões influenciadas por outras razões, mais do que as de natureza científica

¹¹⁰Além desses esclarecimentos, devem ser considerados, em casos confirmados de má conduta científica, as circunstâncias envolvidas em tais atos, como, por exemplo, a pressão por publicações. Essa pressão pode levar cientistas, por medo de sanções, como a perda de financiamento e cargos, a desviarem sua conduta. Não se pretende “inocentar” quem comete tais desvios, mas, ao contrário, destacar que uma análise meramente das condutas individuais, sem considerar o contexto social no qual isso ocorre, pode resultar em conclusões superficiais, superestimando o papel do cientista que cometeu o ato e subestimando o papel da comunidade científica.

e técnica, por conta de interesses diversos (ganhos econômicos, científicos, políticos, etc.); acobertar más condutas cometidas por terceiros ou impor represálias a quem as denuncia; usar citações indevidamente, isto é, citar trabalhos que não são essenciais em uma pesquisa, como forma de inflar o índice de citações de um autor ou grupo de autores; declarar coautorias de fachada, sem que o coautor tenha feito uma contribuição significativa ao trabalho; omitir deliberadamente o crédito aos que colaboraram com o trabalho; praticar o chamado *fatiamiento* ou *ciência salame*, que consiste na publicação de dois ou mais artigos com resultados que caberiam em um só (Oliveira, 2015; Steneck, 2006; Vilaça, 2015).

Os problemas éticos mencionados até aqui estão, principalmente, no âmbito interno da ciência. Contudo, os cientistas enfrentam também problemas éticos na intersecção entre ciência e sociedade. Geralmente, assume-se que os cientistas não possuem clientes cujos direitos exigem proteção imediata – diferente dos médicos, por exemplo, que atendem indivíduos diretamente. Entretanto, desde o pós-guerra tornou-se claro que a prosperidade de uma sociedade está relacionada diretamente, e cada vez mais, com o avanço do conhecimento científico nela desenvolvido. Portanto, há uma relação íntima entre sociedade e ciência, em que a primeira fornece *clientes* aos cientistas, que são os que pagam e se beneficiam do conhecimento científico (Steneck, 1994). Cada uma das partes possui necessidades, expectativas e obrigações próprias, porém suas responsabilidades particulares combinam-se para atingir um objetivo em comum.

Como mencionado anteriormente, existem contratos formais e informais entre uma classe profissional e a sociedade. No caso da ciência, uma forma de contrato se dá pelo financiamento à pesquisa por parte da sociedade. Nesse modelo, os cientistas se comprometem a produzir conhecimento científico e, em troca, a sociedade espera que tais conhecimentos possam ser traduzidos em novos produtos, como tecnologias, materiais, medicamentos, etc. (Kovac, 2004). Além deste último compromisso, de cunho mais concreto e utilitarista citado por Kovac (2004), a produção do conhecimento científico por si, ou seja, sem interesse imediato na produção de produtos tecnológicos, pode envolver o compromisso em ampliar a cultura humana, sendo nessa medida também uma expectativa por parte da sociedade em relação à ciência.

Tendo isso em vista, a escolha da linha de pesquisa de um cientista se torna não apenas um problema científico, mas, também, um problema ético, pois envolve a

avaliação dos diferentes temas disponíveis de pesquisa e suas possíveis consequências tanto para a comunidade científica quanto para a sociedade. A diversidade de opções e consequências específicas inerentes a elas leva a considerarmos que a escolha de uma linha de pesquisa é, por si só, uma decisão ética. Essa escolha deve ser baseada em um senso de responsabilidade em relação à comunidade científica e à sociedade: os cientistas não podem ignorar as necessidades da sociedade. Haverá problemas também caso não sejam preservados os ideais morais da atividade científica, como, por exemplo, a busca por conhecimento novo e original – ainda que seu interesse possa existir, inicialmente, apenas para os cientistas, sem resultados imediatos para a sociedade (Kovac, 2001).

Kovac (2001) acrescenta, ainda, os problemas éticos envolvidos no financiamento de pesquisas acadêmicas por corporações privadas; as pressões internas e externas sobre os cientistas para patentear e comercializarem os resultados de suas pesquisas; e a privatização do conhecimento, na forma de bancos de dados comerciais. Em termos gerais, todas essas situações abarcam questões referentes à comercialização do conhecimento, e têm como consequência uma tensão entre os ideais morais da pesquisa pura e as demandas econômicas características da sociedade capitalista.

Nesse contexto, os problemas éticos surgem quando os ganhos pessoais se sobrepõem aos compromissos com a comunidade científica e com a sociedade. Se os cientistas estiverem interessados apenas em ganhos comerciais, a pesquisa básica e os conhecimentos fundamentais dela decorrentes, dos quais a pesquisa aplicada depende, podem ser prejudicados, afetando negativamente a ciência como um todo. Dessa forma, o financiamento privado pode resultar, ainda, na produção de produtos rentáveis, porém destinados ao conforto de poucos, em detrimento da solução de problemas que atendam às necessidades essenciais dos mais pobres. Mesmo quando as aplicações práticas são benéficas para a maioria da população, deve-se estar ciente de que, em alguma medida, a pesquisa básica fundamental foi deixada em segundo plano, o que também tem consequências (Kovac, 2001).

Cientistas vivendo sob tais circunstâncias estão sujeitos a conflitos de interesse, que podem surgir quando os interesses do negócio colidem com as obrigações acadêmicas. Coppola (2001) identifica quatro áreas de conflito na pesquisa conduzida nas Universidades:

- *Conflito público*: se as instituições são financiadas, total ou parcialmente, por dinheiro público, espera-se um retorno desse investimento para a sociedade;
- *Conflito profissional*: uma das responsabilidades cruciais de um docente da Universidade é educar a próxima geração de profissionais. Essa preocupação pode ser ofuscada ou deslocada pela atividade de empreendedorismo acadêmico, a ponto de o docente concentrar seus esforços e tempo em outras atividades que não a educação dos estudantes. Há, aqui, um conflito entre ser “chefe” e ser “orientador”;
- *Conflito institucional*: se o empreendedorismo resultar em negligência das atividades de ensino, pesquisa e outros serviços, então o principal trabalho do docente na instituição não estará sendo feito;
- *Conflito pessoal*: dado que cada cientista é responsável por seu próprio trabalho, um dilema surge a partir de como gerenciar seu próprio tempo e esforços¹¹¹.

Novamente, em todas as instâncias mencionadas existem diferentes opções e consequência próprias, seja para o cientista, universidade, estudantes, e, em termos amplos, para a sociedade, caracterizando-as como problemas éticos.

Por fim, mas não menos importante, a atividade científica é um empreendimento operacional (Del Re, 2001), isto é, ela opera sobre a Natureza, interferindo em sua evolução (ou curso natural) em diferentes graus. A História da Ciência tem nos mostrado que perturbações na Natureza, ainda que pequenas, podem ter grandes consequências, muitas vezes indesejadas e maléficas. Portanto, a atividade científica deve incorporar a análise dos riscos envolvidos. Não obstante, não é possível eliminar todos os riscos. O cientista pode, e deve, escolher entre as possibilidades disponíveis tendo em vista a análise dos riscos envolvidos, assumindo, então, a responsabilidade da escolha. Por se tratar de uma conduta crítica e consciente, a ética não admite uma escolha sem justificativa, o que demanda razões para a tomada de decisões.

Esse panorama amplo sobre a ética na Ciência revela que diferentes aspectos impactam o modo como o conhecimento científico é produzido e aplicado, sendo que produção e aplicação se encontram intimamente relacionadas e sofrem influências

¹¹¹Kovac (2001) e Coppola (2001) se referem ao contexto dos EUA, onde há forte incentivo governamental ao empreendedorismo, promovido por leis de patente como a *Bayh–Dole Act* de 1980, que permitiu às universidades o patenteamento de resultados de pesquisa financiados por dinheiro público, resultando, assim, em estímulo à comercialização de tecnologias (Oliveira & Velho, 2009). Apesar dessa diferença, os apontamentos de Kovac (2001) e Coppola (2001) são pertinentes aos pesquisadores brasileiros, pois cada vez mais setores dentro e fora da comunidade científica brasileira incentivam e, mesmo, realizam a comercialização do conhecimento na forma de patentes, bem como de parcerias entre instituições de ensino e pesquisa e a iniciativa privada.

recíprocas. Em diferentes momentos e contextos, os cientistas devem avaliar os possíveis caminhos a serem seguidos, buscando escolher, em cada situação, as opções que trarão menos consequências negativas (ou mesmo nenhuma) para os diferentes agentes envolvidos, como o próprio cientista, a comunidade científica, a sociedade, etc.

Até aqui, delinhamos uma ética científica em termos amplos; mas, tal como há uma ética profissional específica de cada profissão, as diferentes disciplinas científicas também apresentam problemas éticos próprios. Por exemplo, a Física está envolvida nos debates em relação ao uso da energia nuclear; a Biologia tem enfrentado discussões a respeito do uso de organismos geneticamente modificados e da clonagem de humanos (Coppola & Smith, 1996; Kovac, 2015). A seguir, discutimos quais problemas éticos específicos estão presentes nas atividades dos químicos.

4.5. Da Filosofia da Química para a ética química

A identificação de questões éticas específicas da Química necessita de uma compreensão epistemológica prévia sobre essa ciência, ou seja, o que ela é, o que estuda, como funciona, quais seus objetivos, valores, etc. Em especial, é a partir de respostas à questão “Qual é a principal atividade dos químicos?” que a seguinte questão pode ser respondida: “Como essa singularidade se reflete sobre as preocupações éticas da Química?” (Kovac, 2015). Para isso, recorreremos às discussões realizadas no âmbito da Filosofia da Química, que se ocupa em refletir explicitamente sobre questões dessa natureza.

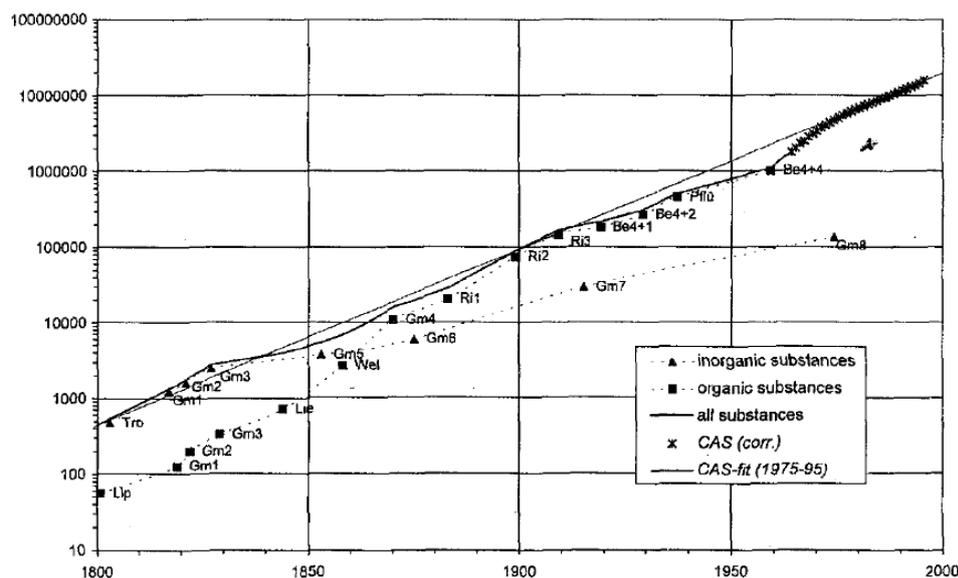
Primeiramente, esclarecemos que diferentes compreensões sobre a Química foram apresentadas ao longo de sua história, frutos da epistemologia em voga em cada época e, também, influenciadas por suas teorias, leis, modelos e instrumentos científicos disponíveis. Nas últimas duas décadas, a institucionalização da Filosofia da Química por meio de congressos, periódicos e livros, intensificou as análises de cunho filosófico sobre essa ciência (Labarca, 2010; Scerri & McIntyre, 1997; Schummer, 2006).

Dentre os diferentes aspectos analisados no sentido de identificar particularidades da Química, a *síntese química* tem sido defendida como uma das principais atividades

dos químicos, ainda que não a única¹¹² (Jacob & Walters, 2005; Kovac, 2015; Laszlo, 2001; Ruthenberg, 2016; Schummer, 1997a, 1997b, 1999, 2001b).

A partir de uma análise cientométrica¹¹³ da produção em Química nos últimos duzentos anos, realizada em diferentes fontes e bancos de dados, Schummer (1997a, 1997b, 1999a) concluiu que a produção de substâncias, orgânicas e inorgânicas, cresceu quase exponencialmente ao longo desse período. Poucas centenas de substâncias eram conhecidas no início do século XIX (apenas duzentas substâncias orgânicas eram conhecidas no final da década de 1820), número que aumentou para cerca de 19 milhões de substâncias conhecidas ao final do século XX. Esse crescimento pode ser ilustrado pelo seguinte gráfico, construído com escala semi-logarítmica:

Gráfico 1 – Crescimento do número de substâncias químicas conhecidas entre os anos de 1800 a 2000 (a ordenada representa o número de substâncias conhecidas; a abscissa representa o ano)



Fonte: Schummer (1997a, p. 110).

¹¹²Como bem destaca Kovac (2015), outra atividade central na Química é a *análise* qualitativa e quantitativa. Após a síntese de uma nova substância é necessário compreender o que foi produzido, o que envolve a determinação de sua fórmula molecular, estrutura e propriedades. Isso era feito com métodos químicos clássicos, mas, nas últimas décadas, estes deram lugar à análise instrumental realizada, por exemplo, por técnicas espectroscópicas. A Química Analítica também tem como objeto de estudo as misturas de substâncias, buscando identificar seus componentes e determinar suas concentrações.

¹¹³A cientometria é definida como o estudo da mensuração e quantificação do progresso científico e tecnológico. Para isso, a cientometria adota, entre outros parâmetros, a mensuração de diferentes publicações científicas, tais como artigos, livros e revistas científicas para estimar o crescimento da ciência (Silva & Bianchi, 2001).

Na atualidade, o número de substâncias pode ser estimado considerando os dados disponíveis no *Chemical Abstracts Service* (CAS), uma plataforma de registro de substâncias químicas criada pela *American Chemical Society* (ACS) dos Estados Unidos, sendo “a única organização em todo o mundo cujo objetivo é identificar, reunir e organizar publicamente todas as informações divulgadas das substâncias químicas”¹¹⁴. O CAS abrange substâncias comunicadas na literatura de 1957 até a atualidade. Assim, desde a criação do CAS em 1965, cada substância química¹¹⁵ recebe um número de registro, acompanhado de informações básicas como sua fórmula molecular, fórmula estrutural, nome e outras informações que identifiquem a substância. Além disso, as substâncias produzidas antes da criação do CAS também foram (ou estão sendo¹¹⁶) submetidas ao processo de catalogação, de modo que esse sistema abrange a identificação de substâncias produzidas desde o começo do século XIX. Para ser registrada, a nova substância deve ser descrita em um dos mais de 10 mil periódicos científicos que compõem o banco de dados do CAS.

As informações apresentadas pelo CAS em relação ao número de substâncias registradas nos últimos 20 anos são assombrosas: em 2005, menos de 10 anos depois dos estudos cientométricos realizados por Schummer (1997a), o número de substâncias registradas saltou para 25 milhões; em 2009, 50 milhões; em 2013, 73 milhões; em 2015, quando o CAS completou 50 anos, 100 milhões de substâncias já haviam sido registradas. Atualmente, em 2017, um total de 127 milhões de substâncias químicas se encontram registradas, sendo que, a cada dia, cerca de 15 mil novas substâncias são catalogadas. A produção de substâncias químicas nos últimos anos atingiu patamares nunca vistos antes na história, fato que pode ser ilustrado pelo número de registros realizados somente no ano de 2014, que superou o número total de substâncias catalogadas no período de 1965 a 1990¹¹⁷.

A síntese de novas substâncias químicas é justificada pelos químicos em seus artigos, principalmente, como forma de promover conhecimentos e habilidades

¹¹⁴Fonte: <http://www.cas.org/>. Acesso em: 20 de fev. 2017.

¹¹⁵Embora o registro se refira, em termos gerais, a substâncias orgânicas e inorgânicas, o CAS esclarece que inclui uma ampla faixa de substâncias, como, por exemplo, metais, ligas, minerais, compostos de coordenação, organometálicos, substâncias simples, isótopos, partículas nucleares, ácidos nucléicos e proteínas, polímeros e materiais não estruturados.

¹¹⁶De acordo com as informações fornecidas pelo CAS, não fica claro se o processo de catalogação de substâncias anteriores a sua criação foi concluído ou se ainda está em andamento.

¹¹⁷Fonte: <http://www.cas.org/>. Acesso em: 20 de fev. 2017.

sintéticas, ou seja, aprimorar continuamente os métodos para produzir novas substâncias, sendo um fim em si mesmo (*química sintética como um fim em si mesmo*). Em segundo lugar, em menor proporção, os químicos justificam a atividade sintética pelo interesse em aplicações tecnológicas (*química sintética para fins utilitários*¹¹⁸). Ainda são mencionadas, entre as justificativas, a importância da síntese para a elaboração de classificações, a elucidação de peculiaridades estruturais e o aprimoramento de modelos e teorias (Kovac, 2001; Schummer, 2001b).

Os números expressivos em torno das substâncias químicas registradas ano a ano permitem inferir que uma das principais atividades dos químicos na atualidade, e ao longo da história, é a síntese (produção) de substâncias químicas, em especial, *novas substâncias químicas*, isto é, substâncias que não existem ou não foram identificadas na Natureza. Não há informações precisas nos bancos de dados a respeito da porcentagem das substâncias conhecidas que não existiam na Natureza, mas o registro contínuo e em escala cada vez maior sugere que a quase totalidade das novas substâncias seja artificial.

Enquanto a maioria dos cientistas estudam a Natureza, *os químicos criam muitos dos objetos que estudarão*, sendo esta considerada uma das particularidades da Química, de acordo com a Filosofia da Química. No imaginário popular, e mesmo entre cientistas, a ciência visa conhecer os “segredos” da Natureza. Contudo, a síntese química não acomoda essa compreensão, pois, ainda que a nova substância seja produzida a partir de substâncias existentes na Natureza, a nova substância em si não é um *segredo* da Natureza, pois nunca esteve presente nela (Davis, 2002)¹¹⁹. Não obstante, essa atividade não resulta apenas em um conhecimento ou ideia (por exemplo, uma compreensão a nível molecular a respeito da simetria da substância,

¹¹⁸Kovac (2001) alarga a compreensão entre *pesquisa pura* e *pesquisa aplicada* baseado no *quadrante de Pasteur* proposto por Stokes (1997). O quadrante se fundamenta na análise histórica do trabalho de Pasteur, que proporcionou contribuições fundamentais para o desenvolvimento da microbiologia (pesquisa pura), tendo sido motivado pelos problemas práticos da indústria francesa (pesquisa aplicada). Essa pode ser caracterizada como uma *pesquisa básica inspirada pelo uso*. Para Kovac (2001), os químicos sintéticos não são inspirados apenas pelo desafio de criar novas substâncias e reações, mas, também, pela possibilidade de que tais substâncias possam ser úteis, como fármacos ou em outras aplicações. Isso não impede que a pesquisa em química sintética seja realizada tendo em vista um interesse teórico ou estético ou, ainda, que a pesquisa realizada em uma indústria seja pesquisa puramente aplicada, na qual um conhecimento estabelecido orienta a produção de um produto prático. A partir disso, Kovac (2001) defende que os químicos desenvolvem, principalmente, pesquisa básica inspirada pelo uso.

¹¹⁹Esse aspecto pode gerar discussões filosóficas interessantes quanto ao significado de *descoberta* no contexto da síntese química e, em termos amplos, da Química. No entanto, isso não será aprofundado aqui, pois iria além do escopo deste capítulo.

ou uma metodologia para obtê-la), indo além, na medida em que envolve também a materialização imediata de algo, a nova substância (Kovac, 2015).

Em vista disso, a síntese e a introdução na Natureza de novas substâncias químicas implicam na mudança do mundo material, ou, no mínimo, na possibilidade de mudança, por meio do conhecimento de como obtê-las. Essa consequência da síntese química engendra problemas éticos próprios para os químicos¹²⁰, pois tais mudanças afetam diretamente as condições materiais da vida, seja proporcionando benefícios ou danos aos seres humanos (Kovac, 2015; Schummer, 2001b). Com base nisso, na próxima seção discutimos em maiores detalhes as implicações éticas da síntese química.

4.6. As implicações éticas da síntese química

A síntese química de uma nova substância¹²¹ apresenta, de modo geral, três momentos que podem desencadear questões éticas, relativas a riscos e responsabilidades particulares aos químicos. São eles: 1) a *motivação* para realizar a síntese; 2) a *disponibilidade do método de obtenção* da nova substância; e 3) a *materialização* da nova substância (Jacob & Walters, 2005).

A motivação que orienta a síntese de uma nova substância carrega em si um problema ético: Para que a substância será utilizada? Kovac (2015) elenca seis grandes aplicações para as novas substâncias na sociedade contemporânea:

1. *Materiais estruturais*, como plásticos e fibras sintéticas;
2. *Produtos agrícolas*, como pesticidas, herbicidas e fertilizantes;

¹²⁰A engenharia genética e sua característica de modificar a composição genética de organismos acarreta em riscos e problemas éticos semelhantes aos das substâncias químicas. No rol de riscos apontados para a engenharia genética, destaca-se a introdução de organismos geneticamente modificados (OGMs) no meio ambiente (Schramm, 1998). Trata-se de mudar o mundo material pela introdução de novos organismos, assim como ocorre com as novas substâncias químicas (Schummer, 2016). Considerando, porém a escala histórica, a engenharia genética e seus produtos só se tornaram possíveis na segunda metade do século XX. Por conta disso, o uso do termo particular ou próprio não quer sugerir *exclusividade* dessa característica da Química frente a outras disciplinas científicas, mas enfatizar sua centralidade na Química, pois historicamente a produção de substâncias acompanha esta ciência desde, no mínimo, o século XIX.

¹²¹A síntese de novas substâncias produz questões éticas que não se restringem à substância-alvo, isto é, a que se pretende obter ao fim, que, em geral, é o produto majoritário da reação. Sua produção invariavelmente resulta em impurezas ou subprodutos, muitas vezes substâncias desconhecidas, não previstas e não pretendidas, decorrentes da síntese do produto de interesse. Os riscos em torno das impurezas e subprodutos progredem de acordo com a escala de produção envolvida, aumentando da escala de laboratório para a de manufatura industrial (Jacob & Walters, 2005).

3. *Fármacos*;
4. *Processos químicos* industriais ou de uso doméstico;
5. *Produtos de cuidado pessoal*, como sabões e cosméticos;
6. *Alimentos*, como aditivos alimentares, por exemplo, flavorizantes e conservantes.

Em quaisquer dos empregos mencionados, uma importante questão ética é analisar se os potenciais riscos são superados pelos benefícios que a nova substância irá proporcionar. No caso da substituição de uma substância por outra, para a mesma finalidade, a avaliação será baseada nas vantagens que a nova substância produzirá, sem que isso resulte nas desvantagens que a atual substância utilizada ocasiona (Kovac, 2015).

Nas situações mencionadas por Kovac (2015), a síntese química é justificada tendo em vista fins utilitários. Entretanto, como Schummer (1997b) destaca a partir da análise de artigos comunicando a síntese de uma ou mais novas substâncias, a síntese química é, para uma parcela significativa dos químicos, um fim em si mesmo. Nesse caso, o objetivo é aprimorar as habilidades sintéticas necessárias para a produção posterior de outras substâncias ou classe de substâncias, também novas¹²². Nesse âmbito, a questão ética perpassa uma avaliação dos potenciais riscos e benefícios das substâncias intermediárias produzidas, podendo envolver, por exemplo, a escolha entre rotas sintéticas que resultem em menos intermediários ou substâncias menos danosas. Além disso, a escolha do melhor caminho pode envolver outros aspectos práticos, como os seguintes, tornando ainda mais complexa a tomada de decisões:

Existe, geralmente, mais de um modo possível para produzir uma molécula particular. Decidir qual é o “melhor” método envolve um grande número de considerações, incluindo o custo dos materiais, rendimento, quantidade e pureza do produto, segurança, métodos de purificação, condições da reação, entre outras. Dois químicos diferentes podem escolher duas rotas diferentes baseados em considerações individuais. Por exemplo, enquanto uma rota pode fornecer um alto rendimento, mas exige um elevado custo de equipamentos, a segunda rota tem um baixo rendimento, mas pode ser realizada de maneira menos custosa. O químico que já possui tal equipamento especializado provavelmente escolherá a primeira alternativa; por outro lado, seu colega, cujo orçamento de pesquisa é limitado, pode aceitar o menor rendimento para poupar dinheiro (Kovac, 2004, p. 23).

¹²²Schummer (1997b) destaca que essa é uma característica, principalmente, da síntese de substâncias orgânicas, na qual a obtenção da substância de interesse pode envolver várias etapas, resultando na produção de diferentes substâncias em cada etapa.

O segundo momento envolve os riscos práticos referentes à primeira vez que a síntese será realizada. Nesse momento, o químico, ainda que munido das teorias químicas e experiente nos procedimentos de laboratório, adentra no desconhecido. Um dos riscos envolvidos nessa etapa é que a síntese resulte, por exemplo, em uma explosão, tendo consequências não somente para o químico que realiza o procedimento, mas até mesmo causando danos humanos e materiais aos demais colegas de laboratório. Após o refinamento e domínio na preparação da nova substância, sua metodologia de obtenção é divulgada para a comunidade de químicos, tornando possível sua reprodução subsequente por outros profissionais. Caracteriza-se, assim, o risco quanto à disseminação do método sintético na literatura científica (Jacob & Walters, 2005). Ao torná-la pública, a síntese poderá ser feita por um número maior de pessoas, resultando potencialmente nos mesmos riscos práticos mencionados anteriormente – ainda que em menor nível, pelo fato da metodologia já haver sido refinada. O risco aumenta na produção em maior escala da substância, especialmente se ocorrer fora da comunidade científica, tendo em vista fins econômicos.

A síntese em laboratório de pesquisa permite maior controle dos riscos, pelo uso de pequenas quantidades de reagentes e seguindo determinadas orientações de segurança (por exemplo, através da utilização de Equipamentos de Proteção Individual). Após a publicação do método sintético, os riscos envolvidos são de mais difícil avaliação, pois residem no uso futuro de grandes quantidades da substância, provenientes da disponibilidade do método de síntese da substância a outros químicos. Comumente, a responsabilidade é atribuída unicamente à indústria química, nos casos em que a substância adquire interesse comercial e sua manufatura ganha escala industrial. A responsabilidade em torno da disponibilidade do método é frequentemente subestimada pelos químicos, o que se reflete em atribuições éticas e legais vagas, não só do químico que comunicou a metodologia, mas, também, da comunidade de químicos que aceitou a publicação e, conseqüentemente, os riscos envolvidos (Jacob & Walters, 2005).

Por fim, existem os problemas éticos gerados pela materialização da substância, a qual tem como consequência a mudança do mundo material pelo acréscimo de uma nova entidade. Embora haja um aumento do conhecimento, adquirido pela produção e pela caracterização de algumas das propriedades da nova entidade, a síntese

química de uma nova substância resulta no paradoxo epistemológico do aumento do não-conhecimento. Esse paradoxo se refere ao desconhecimento de todas as demais propriedades não determinadas experimentalmente para a substância, em especial sua reatividade frente a todas as demais substâncias existentes na Natureza. Esse desconhecimento, pode, inclusive, ser estrondosamente maior que o conhecimento adquirido pela obtenção da substância. Esse problema se intensifica quando as substâncias de interesse acadêmico deixam os laboratórios e se tornam parte de nosso ambiente material (Ruthenberg, 2016; Schummer, 1999, 2001b).

Os químicos comumente rejeitam ou não assumem as responsabilidades por materializarem uma nova substância e, conseqüentemente, pelos possíveis danos que ela venha a causar no futuro. Para justificar essa posição, argumentam que ser um químico sintético exige a produção de novas substâncias (argumento da necessidade) e que não se pode prever eventuais danos causados pela nova substância, nem suas propriedades deletérias (argumento do [des]conhecimento). Um terceiro argumento é a ausência de intenção inicial em provocar dano ao sintetizar uma nova substância (argumento da intenção) (Schummer, 2001b).

Para cada um desses argumentos, se pode apresentar contra-argumentos. Minimizar as responsabilidades individuais recorrendo às “forças sociais”, isto é, ao fato de a comunidade de químicos exigir ou, no mínimo, esperar a produção de novas substâncias, não exclui um grau de autonomia que cada químico tem em relação a suas escolhas. Além disso, tais responsabilidades não se restringem aos químicos como indivíduos, mas abrangem também os químicos como sociedade¹²³. Em relação ao argumento do (des)conhecimento, ainda que seja impossível fornecer uma descrição exaustiva das propriedades de uma nova substância química, bem como de seu comportamento futuro, há que se assumir os riscos envolvidos e buscar continuamente avaliá-los. Finalmente, ainda que a intenção inicial não fosse causar danos, há que se empreender reflexões contínuas das possíveis conseqüências da nova substância, a fim de avaliar se as boas superaram as más conseqüências não pretendidas. Essa avaliação se torna mais complexa quando a nova substância é

¹²³Jacob e Walters (2005) destacam que os pesquisadores em Química que produzem novas substâncias e publicam seus resultados raramente são questionados por seus pares a oferecer informações básicas sobre potenciais danos que podem ocorrer a partir do emprego dessas substâncias.

benéfica para certos grupos, mas danosa para outros (Kovac, 2015; Ruthenberg, 2016; Schummer, 2001b).

Até aqui, enfatizamos os riscos e responsabilidades em torno das substâncias químicas em âmbitos nos quais os químicos e a comunidade de químicos possuem maior domínio e influência, a saber, em seus laboratórios, periódicos, etc. Contudo, parte das substâncias químicas produzidas, particularmente as de interesse econômico, se espriam por contextos mais amplos que o científico – o que resulta em maior complexidade por apresentar, além de aspectos éticos, questões legais e regulatórias. Nesses contextos, figuram novos agentes, com responsabilidades próprias frente ao emprego das substâncias químicas, como fabricantes, governos (legisladores e órgãos oficiais de regulação e fiscalização) e consumidores. Todos esses agentes, em conjunto com os químicos, formam uma cadeia complexa em relação às suas responsabilidades e à análise dos riscos envolvidos (Jacob & Walters, 2005; Martin, Iles, & Rosen, 2016).

Em geral, os cientistas se posicionam de maneira “neutra” em relação ao emprego dos produtos da ciência, recusando qualquer responsabilidade por seus maus usos. Tampouco se responsabilizam por danos humanos e ambientais causados pelos produtos da ciência. Apesar da distância do laboratório, os químicos criadores de novas substâncias devem compartilhar alguma responsabilidade, ainda que o uso posterior das substâncias esteja além do seu controle (Jacob & Walters, 2005). Segundo Jacob e Walters (2005), é

[...] irrealista esperar que os químicos sintéticos realizem profundas avaliações de riscos para todos os novos compostos. Entretanto, a atribuição da responsabilidade pela disseminação de uma substância não testada pode fazer os químicos mais conscientes das implicações de seu trabalho, e torná-los mais precavidos quando lidam com novas substâncias e com o conhecimento e não-conhecimento que vem com elas (Jacob & Walters, 2005, p. 163).

Episódios históricos exemplares, como a disseminação do bisfenol A¹²⁴ (Martin *et al.*, 2016), o emprego do *napalm* e do agente laranja na Guerra do Vietnã (Contakes & Jashinsky, 2016; Jacob & Walters, 2005), ilustram que nenhuma das partes envolvidas (químicos, indústria, governos e militares) assume sua responsabilidade

¹²⁴Nas últimas décadas, um amplo debate tem ocorrido nos EUA em relação aos riscos da proliferação dessa substância em produtos de consumo e no ambiente.

por quaisquer danos que o uso dessas substâncias causou ou venha a causar. Comumente, um agente atribui a responsabilidade a outro agente, que, por sua vez, a transfere a um terceiro, resultando, assim, na negação das responsabilidades de cada um dos envolvidos.

Não é necessariamente antiético usar e disseminar substâncias químicas na sociedade e no ambiente, se as consequências prejudiciais não eram previsíveis. Contudo, isso se torna antiético quando novos conhecimentos claramente confirmam os riscos envolvidos e, ainda assim, diferentes agentes persistem em produzir, usar ou vender tais substâncias (Martin *et al.*, 2016; Ruthenberg, 2016).

Tendo delineado uma visão ampla sobre ética, ética científica e ética química, na próxima seção discutimos a importância de promover discussões dessa natureza no Ensino de Química.

4.7. A importância de um ensino explícito e formal sobre questões éticas

A ética científica, tradicionalmente, tem sido “ensinada”¹²⁵ pelo exemplo e pelo hábito, isto é, por meio da observação de como cientistas mais experientes se comportam em uma dada situação relacionada à conduta científica. Isso se desenvolve em sala de aula, nas discussões de laboratório ou em outros contextos da prática científica. Trata-se de um ensino de caráter implícito e informal (Coppola, 2000; Coppola & Smith, 1996; Kovac, 2004).

Ainda que pouco seja feito em prol de uma formação ética crítica e reflexiva, espera-se que futuros cientistas apresentem comportamento ético exemplar no exercício de sua profissão. Isso pode ser inferido a partir de uma leitura, por exemplo, do Código de Ética dos Profissionais de Química¹²⁶. Esse documento lista deveres profissionais como, por exemplo, proceder com dignidade e distinção, e ajudar a coletividade na compreensão justa dos assuntos técnicos de interesse público. O Código de Ética apresenta, ainda, o que os profissionais da Química não devem fazer, como, por exemplo, usar sua posição para coagir a opinião de colega ou de subordinado, usufruir de concepções ou estudos alheios sem fazer referência ao autor, e procurar atingir qualquer posição agindo deslealmente. Códigos de ética como

¹²⁵Utilizamos aspas aqui, pois ensinar, em nosso ponto de vista, é um ato consciente e deliberado.

¹²⁶O Conselho Federal de Química disponibiliza o seguinte código de ética: <http://www.cfq.org.br/co927.htm>. Acesso em: 15 de mar. 2017.

esse elencam uma série de responsabilidades e deveres, porém sem apresentar um guia a respeito de como lidar com conflitos éticos. Por exemplo, se a responsabilidade dos químicos frente à coletividade entrar em conflito com as responsabilidades assumidas por ele com seu empregador, quem terá prioridade? Como proceder em tais situações?

A ausência de discussões éticas explícitas torna-se problemática, pois as decisões que cientistas e professores tomam em situações do dia-a-dia da prática científica e de seu ensino, as quais podem servir de exemplos para os estudantes construírem suas condutas, podem não contemplar situações importantes que serão posteriormente vivenciadas pelos futuros profissionais. Eles podem, inclusive, se deparar com discursos que pregam determinada conduta, recomendada pelo professor ou cientista, mas reconhecerem ações e decisões desses mesmos sujeitos que contradizem seu discurso, o que pode ser exemplificado pela máxima “faça o que eu digo, não faça o que eu faço”. Tais situações podem resultar em dilemas ao estudante: Qual caminho adotar? Por que a ação tomada pelo professor ou cientista é diferente do que ele próprio recomenda? Essas situações ilustram o alcance limitado do “ensino” de ética via exemplos e hábito, pois ocorrem, principalmente, de maneira tácita e, conseqüentemente, não permitem a reflexão crítica e explícita das condutas éticas. Como resultado disso, ainda que outros fatores estejam envolvidos, tem se observado um aumento de práticas antiéticas e antiprofissionais nos últimos anos (Oliveira, 2015), o que evidencia a limitação dessa abordagem (Coppola, 2000).

Kovac (2004) argumenta que a permanência dessa situação é motivada por duas objeções ao ensino formal da ética científica: (1) a ética profissional é mais bem ensinada no grupo de pesquisa; e (2) não se pode ensinar ética, pois as pessoas ou têm moral, ou não têm. Ainda que o grupo de pesquisa possa ser um bom local para aprender a ética científica, isso não garante que ela será ensinada, e muito menos garante o que será ensinado. Esse importante aspecto profissional não pode ser relegado ao acaso.

No que diz respeito à segunda objeção, geralmente há uma confusão entre moral comum e ética profissional (científica). O ensino desta última não visa ensinar a primeira, ou seja, seu propósito não é transformar uma pessoa imoral, mas preparar as pessoas para os problemas éticos específicos de sua futura profissão. Contudo, mesmo considerando estudantes que tomam decisões morais razoavelmente sofisticadas em suas vidas diárias, isso não significa, necessariamente, que serão

capazes de tomar decisões embasadas em situações circunscritas pela ética científica, dada a especificidade dos problemas enfrentados nesse contexto. Por exemplo, muitos estudantes ingressam na universidade com valores morais universais estabelecidos. Eles certamente concordam que é errado mentir. No entanto, isso não significa que estejam aptos a ponderar a relação entre mentir e comunicar os resultados experimentais fidedignamente. Esses estudantes são inexperientes em tomar decisões éticas no contexto profissional. Por consequência, a ausência de discussões explícitas pode levá-los a tomar decisões éticas pobres ou, pior do que isso, incorporar comportamentos de má conduta científica (Kovac, 2004, 2006).

Assim, o ensino explícito e formal é incentivado como forma de iniciar o desenvolvimento de discussões éticas de maneira segura¹²⁷, sistematizada e em um ambiente supervisionado. O que se pretende com o ensino de ética é reconhecer e analisar problemas éticos, bem como avaliar os possíveis caminhos que podem ser seguidos, a fim de tomar a melhor decisão. A aprendizagem da ética não pode depender apenas de discussões informais ou modeladas pelo exemplo e hábito, provenientes do comportamento pessoal. Isso não significa, entretanto, que o comportamento antiético será necessariamente banido simplesmente pela sua formalização (isto é, na forma de uma disciplina de ética ou como tópico de uma disciplina mais ampla). Apesar disso, os futuros cientistas estarão mais aptos a reconhecerem claramente as “regras do jogo”, de maneira a não ficarem à mercê da estratégia de tentativa-e-erro em questões éticas (Coppola, 2000; Kovac, 2006).

Não se pode desconsiderar, ainda, as disciplinas de *metodologia científica, introdução à pesquisa* e assemelhadas, presentes comumente em cursos do Ensino Superior, especialmente quando abordam a escrita científica. Essas disciplinas podem abordar questões referentes à ética científica, no sentido de evitar condutas inadequadas, como o plágio, a falsificação e a fabricação de resultados.

A proliferação de casos de má conduta científica nos últimos anos (Oliveira, 2015) resultou também em uma série de iniciativas, tais como a criação de manuais, seminários, minicursos, etc., com vistas a combater tais práticas. Por exemplo, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) criou, em 2014,

¹²⁷As condutas éticas iniciais dos estudantes não possuem consequências imediatas. Por exemplo, ele(a) pode manifestar inicialmente, em seu discurso, uma conduta considerada danosa, sem que isso tenha consequências práticas imediatas, de modo que a reflexão sobre essa conduta pode levá-lo(a) a rever essa posição.

um *Código de boas práticas científicas* (FAPESP, 2014), cujo intuito é promover uma cultura de integridade científica na comunidade científica do Estado de São Paulo. O documento se estrutura em atividades de: educação; prevenção; e investigação e sanções justas e rigorosas.

Desde o final dos anos 2000, têm sido realizadas no Brasil conferências para discutir a ética científica e assuntos relacionados, o *Brazilian Meeting on Research Integrity, Science and Publication Ethics* (BRISPE) [Encontro Brasileiro sobre Integridade na Pesquisa, Ética na Ciência e em Publicações]. A quarta edição ocorreu em 2016, nos dias 16 e 17 de novembro, na Universidade Federal de Goiás (UFG), em Goiânia. O tema dessa conferência foi *Research Integrity: The Role of Mentors, Editors and Funders* [Integridade na Pesquisa: O Papel dos Orientadores, Editores e Financiadores], tendo como objetivo discutir questões como formação na pós-graduação; os sistemas de avaliação da pesquisa; a revisão por pares; os conflitos de interesse nos sistemas de revisão; a ética da publicação; os sistemas de retratação da literatura; e iniciativas nacionais para promover pesquisas responsáveis¹²⁸.

Essas iniciativas, que visam ir além do ensino pelo exemplo e hábito, possuem, contudo, alcance limitado, por abordar a ética em termos estritos e pragmáticos. Em linhas gerais, não promovem, entre os futuros cientistas, o reconhecimento e a reflexão sobre os valores morais que fundamentam suas buscas intelectuais, nem sobre os problemas éticos subjacentes a sua atividade, que se iniciam na produção e se estendem até a aplicação do conhecimento científico. Tampouco discutem as consequências que as diferentes decisões éticas têm para o pesquisador em formação, para outros cientistas e para a sociedade, especialmente, as que não se relacionam com os problemas éticos decorrentes das condutas inadequadas citadas acima.

Em vista disso, a defesa da importância do ensino explícito e formal da ética, envolve, também, uma defesa de quais conteúdos esse ensino deve promover. O ensino da ética científica restrito ao combate ao plágio, falsificação e fabricação de resultados está pautado por questões mais imediatas e próximas aos cientistas. Além

¹²⁸Disponível em: <http://brispe2016.org/>. Acesso em: 21 abr. 2017. A partir deste, os sites dos BRISPEs anteriores também podem ser acessados.

disso, essa compreensão restringe os problemas éticos à produção do conhecimento científico¹²⁹.

Defendemos que a ética científica deve ser encarada em termos mais amplos. Cientistas não podem se preocupar unicamente com a produção do conhecimento científico, atribuindo a terceiros as eventuais consequências negativas do mau uso dos produtos científico-tecnológicos (por exemplo, o uso da bomba atômica é um ônus do governo do EUA não compartilhado pelos cientistas envolvidos no projeto Manhattan). Os cientistas ainda compartilham amplamente a compreensão de que seu empreendimento é altamente racionalizado e livre de julgamentos de valor. Consequentemente, não assumem a responsabilidade dos efeitos de seus produtos sobre a Natureza e a sociedade (Del Re, 2001; Vilches & Gil-Pérez, 2013).

Portanto, abordar explicitamente questões de natureza ética justifica-se pela não previsibilidade das consequências da produção, uso e disseminação pelo ambiente de novas substâncias e tecnologias. Soma-se a isso a velocidade cada vez maior pela qual novos conhecimentos e tecnologias são produzidos e disseminados, conduzindo os cientistas a tomarem decisões sem maiores reflexões, devido ao descompasso entre os produtos de sua atividade e as reflexões éticas sobre ela.

Essa demanda é reconhecida também, ao menos em parte, pela própria população. A pesquisa sobre *Percepção Pública da Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil* divulgada em 2015 avaliou o interesse, grau de informação, atitudes, visões e conhecimento dos brasileiros em relação à Ciência & Tecnologia (C&T)¹³⁰ (Brasil, 2015). Dentre os resultados, observa-se que a metade dos brasileiros atribuiu à C&T a responsabilidade pela maior parte dos problemas ambientais, e considerou que os cientistas têm conhecimentos que os tornam perigosos. Os entrevistados mostraram receios e dúvidas quanto à ampla liberdade de pesquisa por parte dos cientistas e quanto à responsabilidade destes em relação ao mau uso que outros fazem de suas descobertas. Por todos esses motivos, a maioria dos brasileiros considera que é necessário o estabelecimento de padrões éticos sobre o trabalho dos cientistas, e que estes profissionais devem expor publicamente os riscos decorrentes da C&T.

¹²⁹Em seções anteriores, discutimos problemas éticos que ocorrem ao longo da produção do conhecimento científico que vão além do plágio, falsificação e fabricação de resultados. Isso evidencia que essa abordagem em relação à ética é bastante limitada.

¹³⁰A pesquisa está disponível para consulta pública no site: <http://percepcaocti.cgge.org.br/>. Acesso em: 9 de maio de 2017. Após uma comparação entre o que consta no *site*, no relatório (Brasil, 2015) e no questionário modelo utilizado na coleta de dados, constata-se que nem todas as informações coletadas foram disponibilizadas nos dois primeiros.

Portanto, o ensino de ética deve esclarecer aos cientistas sua corresponsabilidade por todos os possíveis danos causados por suas criações e cultivar um hábito contínuo de reflexão ética sobre suas atividades e seus produtos. Cientistas devem estar cientes de que a produção do conhecimento científico não pode ser separada de suas aplicações, e de que ambas implicam em responsabilidades éticas. Além disso, cientistas devem reconhecer que o conhecimento científico especializado por si só não fornece base suficiente para julgamentos éticos, ainda que esse conhecimento afete suas decisões éticas. Outros conhecimentos devem ser mobilizados para isso, como, por exemplo, a História da Ciência e a Filosofia da Ciência (Laszlo, 2001; Sjöström, 2013; Vilches & Gil-Pérez, 2013).

Se, por um lado, a ética científica tem sido contemplada em alguma medida, ainda que de maneira restrita, por outro, a discussão de problemas éticos próprios de cada disciplina, em especial, os da Química, se encontram incipientes. Ao longo do século XX, os debates acerca dos problemas éticos da Química foram negligenciados ou subestimados por químicos e filósofos. Isso contrasta com a constatação de que uma série de consequências negativas decorreram da atividade química (uso de armas químicas, poluição, danos ambientais, etc.), as quais resultaram na condenação da Química por parte do grande público (Jacob & Walters, 2005; Kauffman, 1992; Schummer, 2001b).

A perspectiva de rejeição dirigida à Química e aos químicos pelo público tem origem externa à Química. Para mudar a percepção pública, é necessário que os químicos entendam e enfrentem essa rejeição. Isso inclui o desenvolvimento de reflexões éticas no interior da Química, promovidas pelos próprios químicos (Laszlo, 2001). Tais iniciativas devem levar em conta que os químicos enfrentam questões éticas específicas, de modo que suas decisões individuais diferem, por exemplo, das decisões tomadas por médicos ou mesmo por membros de outras disciplinas científicas¹³¹. Os químicos, como qualquer pessoa, pertencem simultaneamente a diferentes comunidades, cada qual com seu conjunto próprio de responsabilidades. Como químicos, possuem um código de ética específico; mas são também membros de um grupo profissional mais amplo da ciência, que possui um código de ética próprio. Não obstante, uma parcela significativa de químicos são empregados por

¹³¹Esclarecemos que há maior proximidade a respeito de questões éticas entre químicos e físicos, por exemplo, do que entre químicos e médicos. Ainda assim, entendemos haver especificidades éticas fundamentais da Química em relação a outras disciplinas científicas.

instituições, empresas, indústrias ou universidades¹³², cada qual apresentando sua cultura e expectativas particulares. Além disso, todos os químicos são membros da comunidade de humanos e têm obrigações morais como todas as outras pessoas. A simultaneidade de comunidades em que um químico convive e transita, assim como qualquer pessoa, pode resultar em dilemas morais devido às diferenças nos códigos de ética de cada uma delas. Por exemplo, químicos envolvidos na produção de armas podem enfrentar o seguinte dilema: como cidadãos eles podem se sentir compelidos a contribuir com a defesa de seu país por meio do desenvolvimento de novas armas; por outro lado, como membro da comunidade humana, eles podem considerar que o uso de armas é imoral por causar danos e mortes a seus semelhantes (Coppola & Smith, 1996; Kovac, 2015).

Tendo feito essas considerações, argumentamos que as discussões éticas no ensino devem contemplar paralelamente a ética científica e a ética química: a primeira centrada em aspectos, problemas e situações compartilhadas por todas as disciplinas científicas; e a segunda pautada, inicialmente, no reconhecimento de problemas éticos próprios da disciplina de Química e, posteriormente, na discussão de aspectos, problemas e situações nas quais os futuros químicos podem se deparar no exercício de sua profissão. Um trânsito entre abordagem geral (ética científica) e específica (ética química) deve ocorrer para o desenvolvimento de um raciocínio ético amplo e profundo, a fim de garantir decisões bem fundamentadas.

A seção final deste capítulo, a seguir, é dedicada à apresentação de algumas sugestões sobre *como* promover o ensino da ética científica e química.

4.8. Como promover discussões éticas no ensino?

Não pretendemos, nesta seção, apresentar uma relação exaustiva de orientações, recomendações e abordagens sobre o ensino da ética científica e da ética química. No que diz respeito ao ensino de ética científica, poucas iniciativas são encontradas na literatura se o intuito é tratar de aspectos éticos que estão além do plágio,

¹³²Essa passagem simplifica as posições possíveis de serem ocupadas por um químico. Além dessas, o químico pode atuar profissionalmente como empreendedor, microempreendedor individual ou autônomo, posições nas quais o químico não é empregado. Em tais contextos, a posição e as circunstâncias ao seu redor modificarão os problemas éticos enfrentados por ele em relação aos químicos que se encontram na posição de empregado em uma instituição, empresa, indústria ou universidade.

falsificação e fabricação de resultados. Em relação à ética química, a recente institucionalização da Filosofia da Química faz com que seja ainda restrito o número de relatos sobre como ensiná-la. Assim, é um dos objetivos desta tese oferecer uma contribuição ao ensino da ética Química.

A ética pode ser mais bem discutida a partir de um contexto (Coppola & Smith, 1996; Jacob & Walters, 2005; Kovac, 1996, 2004), isto é, a partir da apresentação de um caso que apresente em detalhes: o que está ocorrendo ou ocorreu; quais os agentes envolvidos; o que fizeram e como foi feito; quais informações os agentes detêm ou detinham e quais não; quais suas motivações, posições de poder, obrigações e interesses; quais decisões foram tomadas ou podem ser tomadas; e quais foram as consequências ou possíveis consequências de tais ações.

Os contextos podem ser *casos históricos*, construídos a partir da História da Ciência; *casos contemporâneos*, concebidos a partir de problemas em andamento na Ciência ou na Sociedade em geral; e *casos hipotéticos*, isto é, relatos breves inspirados na realidade, com vistas a propor a discussão de um problema ético. Cada um dos contextos apresenta suas particularidades.

No *caso histórico*, o contexto científico e sociocultural dos agentes descritos é diferente em relação ao do estudante, e se encontra distante temporalmente; os agentes tomaram decisões éticas sob certas circunstâncias, e essas decisões resultaram em consequências (imediatas, de médio ou de longo prazo) para os envolvidos, outros cientistas, sociedade e Natureza – sendo que, hoje, essas consequências são conhecidas. A partir de um ponto de vista analítico, os casos históricos permitem ilustrar ao estudante *quando e como* questões éticas ocorreram na atividade química, possibilitando, eventualmente, reforçar ou rechaçar certas condutas.

Na literatura, podemos encontrar os seguintes estudos de caso históricos que podem ensejar a promoção de discussões éticas: o uso do napalm, uma arma química (Contakes & Jashinsky, 2016), e do agente laranja, um desfolhante (Jacob & Walters, 2005), na guerra do Vietnã; o emprego do fármaco talidomida, um indutor do sono que resultou em má-formação de milhares de bebês ao redor do mundo (Ruthenberg, 2016); os impactos humanos e ambientais do desenvolvimento e uso do tetraetilchumbo como aditivo na gasolina, e dos clorofluorocarbonetos (CFCs) como fluidos para refrigeradores (Viana & Porto, 2012); e a alegada descoberta da fusão nuclear a frio (Bauer, 2002).

No *caso contemporâneo*, o contexto científico e sociocultural é mais familiar ao estudante. Diferentemente do caso histórico, o caso contemporâneo não se encontra “resolvido”, pois os agentes podem ainda não ter tomado as decisões ou, caso as tenham tomado, suas consequências podem ser ainda muito preliminares, impossibilitando uma análise de todos os aspectos éticos envolvidos. Por outro lado, o caso contemporâneo permite a proposição de estratégias em que os estudantes tomem a perspectiva dos agentes, para avaliarem a situação, tomarem suas decisões e justificarem-nas. Tais estratégias, mais do que reforçar ou rechaçar determinadas condutas éticas, pretendem ensinar o desenvolvimento do raciocínio ético.

Um caso contemporâneo, identificado na literatura, trata da proliferação da substância química bisfenol A, produzida em grande quantidade e presente em uma diversidade de materiais do nosso cotidiano, como, por exemplo, mamadeiras, garrafas de água, embalagens de alimentos em geral, peças automotivas, eletrônicos, etc. Martin e colaboradores (2016) relatam a história recente dessa substância e como químicos, governos, indústria e público em geral encaram sua proliferação.

Há, ainda, uma terceira possibilidade de contexto: o *caso hipotético*. Este se distingue dos outros dois tipos por ser um relato breve, pontual e aberto, no qual se apresenta uma situação hipotética inspirada em problemas da vida real, e no qual uma pessoa (ou pessoas) enfrenta(m) um dilema ou situação que necessita de uma decisão (Kovac, 2004).

Essa distinção preliminar não implica, necessariamente, que casos históricos e contemporâneos não possam ser propostos de modo a criar uma situação na qual os estudantes devam tomar uma decisão. Por exemplo, a metodologia chamada de *história interrompida* (Metz, 2013) cria uma narrativa histórica na qual, ao longo de sua apresentação, os estudantes são solicitados a avaliarem e tomarem decisões.

Contudo, os estudos de caso históricos e contemporâneos distinguem-se pela profundidade e extensão, resultados de uma pesquisa de médio ou longo prazo; e por uma forma de escrita fechada, isto é, não são escritos pelos especialistas de modo a estimular a tomada de decisão por parte dos estudantes a partir de um problema. Eles podem, inclusive, não terem sido escritos com propósitos de ensino.

Os casos hipotéticos, por outro lado, são produzidos com o objetivo de provocar discussões éticas. Eles delimitam com precisão o problema ético e estabelecem um alvo claro de discussão. Entretanto, podem impossibilitar uma análise ampla, por circunscreverem a situação a poucos elementos (agentes, informações, etc.), não

sendo a melhor estratégia para ensinar um conjunto amplo de fatos, princípios e conceitos. Dessa maneira, não apresentam a mesma riqueza de detalhes que os casos históricos e contemporâneos e, conseqüentemente, se não forem adequadamente descritos, podem soar artificiais aos estudantes, resultando em soluções simplistas do tipo *certo ou errado*. Além disso, outra preocupação se refere aos estudantes exprimirem suas decisões sem considerar as informações disponíveis no caso, não procedendo de maneira crítica e reflexiva a partir do que é conhecido e mesmo do que pode ser deduzido.

Ainda que hipotéticos, os casos devem ser concebidos a partir de situações familiares aos estudantes, ou com as quais eles irão se deparar em breve, e devem ser redigidos de modo a favorecer com que os estudantes se coloquem no lugar dos agentes. Ao expor um problema ético de maneira rápida aos estudantes, os cenários hipotéticos exigem menor tempo de estudo, preparação e apresentação se comparados aos casos históricos e contemporâneos. Outra característica é que podem ser formulados de acordo com o propósito formativo, sendo muito mais flexíveis em sua construção do que os casos históricos e contemporâneos, isto é, informações podem ser acrescentadas, modificadas ou omitidas dependendo dos objetivos e do público-alvo.

O nosso entendimento sobre o caso hipotético e a forma de abordá-lo tem aspectos em comum com a metodologia de ensino por estudos de caso (Sá, Francisco, & Queiroz, 2007; Sá & Queiroz, 2010). Portanto, as considerações a seguir fundamentam-se nos referenciais sobre ensino por estudos de caso, mas vão além, na medida em que modificamos essa metodologia tendo em vista o objetivo de promover discussões éticas. Esclarecemos, ainda, que discussões mais amplas em torno da abordagem de casos históricos e contemporâneos foram feitas nos Capítulos 1 e 2 desta tese e, por isso, não serão retomadas aqui.

O emprego de estudos de caso tem sua origem nos EUA em cursos de direito, medicina e administração, sendo utilizados na Universidade de Harvard há pelo menos 100 anos (Menezes, 2009; Terry, 2012)¹³³. Com o intuito de aproximar os

¹³³Menezes (2009) relata que o uso de casos no ensino começou no final do século XIX, no curso de direito da Universidade de Harvard. Até então, a formação dos juristas nos EUA e Europa baseava-se unicamente em estudos teóricos, de natureza dedutiva, sem qualquer aproximação a casos reais. A tarefa dos estudantes, nesse modelo de ensino, restringia-se à memorização dos manuais de direito. A partir da introdução dos casos, priorizou-se o estudo prático da lei, de natureza indutiva, por meio da análise das informações, motivos e alegações que motivaram um processo e seu julgamento por um

futuros profissionais de sua prática, os casos utilizados descreviam histórias reais ou inspiradas na realidade, nas quais pessoas estavam com problemas. Os estudantes deveriam descobrir, a partir de tais relatos, o que estava errado e como o problema poderia ser solucionado. Os casos tinham como objetivo ilustrar aos estudantes princípios gerais, salientar boas práticas a serem implementadas em sua futura atividade, quais eram as respostas certas e quais fatos teriam prioridade para orientar a tomada de decisões (Herreid, 2007b; Terry, 2012).

Nas últimas décadas, a metodologia de estudos de caso tem sido utilizada também na formação de profissionais das áreas de engenharia e ciências. O que se pretende por meio do caso é aproximar o estudante da realidade prática de sua futura profissão, por meio de situações que mobilizem seus conhecimentos sobre o conteúdo científico, bem como sobre questões éticas, sociais e econômicas, a fim de solucionar o problema.

A adoção dessa metodologia é justificada, principalmente, por favorecer a compreensão de conceitos científicos por meio de sua contextualização. Outros objetivos são mencionados para sua adoção, tais como: desenvolver o pensamento crítico; desenvolver a habilidade em resolver problemas; estimular a capacidade de tomar decisões; desenvolver a habilidade de gerenciar o próprio aprendizado; desenvolver a habilidade de trabalho em grupo; e integrar conhecimentos (Sá *et al.*, 2007; Sá & Queiroz, 2010). Pode-se observar que, embora aspectos éticos sejam considerados pelos proponentes dessa metodologia, poucos são os trabalhos que buscam promover como objetivo primário o desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo em torno de problemas éticos sobre a Química.

O estudo de caso é uma vertente da *aprendizagem baseada em problemas* (do inglês, *Problem-Based Learning*). De acordo com essa abordagem, o protagonismo é exercido pelo estudante, que dirige todas as etapas referentes à solução do problema e, por consequência, torna-se o principal responsável por sua aprendizagem. De modo semelhante, no caso hipotético a aprendizagem também é centrada no estudante e ocorre por meio da discussão com outros estudantes, sendo o papel do professor atuar como mediador.

Encontramos em Kovac (2004) a fundamentação para a produção de casos hipotéticos para o ensino de ética Química. Kovac (2004) descreveu uma diversidade

juiz. A então nova metodologia de ensino encontrou resistência das demais instituições durante muitos anos, até começar a ser adotada por outras instituições nos EUA.

de casos em seu livro *The ethical chemist*, direcionados à discussão de problemas éticos com que cientistas e químicos podem se deparar em sua profissão. Os casos são curtos (uma página no máximo), podendo ser lidos e discutidos em uma aula de 50 minutos, ou em uma sequência de aulas, conforme o interesse do professor e dos estudantes. Alguns casos exibem variações de acordo com o público-alvo, a saber, estudantes de graduação, pós-graduação, pesquisadores, etc. Os casos são acompanhados de algumas questões para orientar a discussão. A seguir, apresentamos um exemplo de cenário criado por Kovac, cujo objetivo é discutir como os resultados científicos devem ser comunicados aos pares.

Quadro 9 – Exemplo de um caso hipotético

Título: Rendimento
Público-Alvo: Estudantes da Pós-Graduação
Você terminou a síntese e caracterização de um novo composto, e está trabalhando com seu orientador na redação de um artigo a esse respeito, a ser submetido para um periódico científico da área. Embora você tenha produzido e isolado o composto, você ainda não otimizou todas as etapas da rota sintética, de modo que o rendimento final é de apenas 10%. Você está convencido de que, em breve, será capaz de melhorar o procedimento e aumentar o rendimento para, no mínimo, 50%. Baseado nisso, ao escrever a comunicação, você relata o rendimento de 50%, que ainda não foi obtido, em vez do rendimento atual de 10%. Após revisar o manuscrito, antes de submetê-lo ao periódico, seu orientador pergunta se o rendimento relatado é o que você de fato obteve no laboratório. O que você responde a seu orientador?

Fonte: Adaptado de Kovac (2004, p. 29).

Apesar da quantidade e diversidade de cenários descritos em seu livro, Kovac (2004) não fornece nenhuma orientação a respeito de quais critérios considerar para escrever novos casos. Além disso, seus casos contemplam apenas aspectos da ética científica, ignorando aspectos específicos da ética química nos quais temos interesse. Kovac (2004) propõe poucas questões para cada um dos casos, contentando-se em solicitar, geralmente, apenas a decisão do estudante frente à situação descrita. Consideramos importante que questões analíticas sejam propostas aos estudantes para estimular o raciocínio ético, pois nossa proposta se fundamenta mais no processo (caminho que levou à decisão) do que no produto (a decisão propriamente dita).

Com base nisso, apresentamos algumas sugestões para orientar a elaboração de um caso hipotético. Primeiramente, é importante ter uma motivação ou inspiração para

escrever o caso, a qual pode ser decorrente da leitura de um artigo de pesquisa ou de divulgação científica, ou de mídias em geral (filmes, séries, programas de televisão, internet, etc.), que conduza direta ou indiretamente a um problema ético. A própria experiência do educador com acontecimentos relacionados à ética podem inspirá-lo. A leitura de referências sobre ética, ética científica e ética química também podem cumprir esse papel.

Num segundo momento, o educador deve buscar responder às seguintes questões para, a partir disso, delinear o caso hipotético: 1) *Qual é o objetivo do caso?* 2) *Quais são os aspectos (conteúdos) éticos que se visa abordar com o caso?* 3) *Quais questões podem ser formuladas para promover sua discussão em sala?* 4) *Como ele contribui para a formação do estudante?*

O diálogo com o referencial sobre ética química discutido neste capítulo pode ajudar a refinar os problemas, aspectos e questões em torno da ética química. Por sua vez, a sistematização das respostas às questões anteriores apontará os personagens, as informações e situações que deverão ser incluídas no caso hipotético para atingir os objetivos almejados pelo educador.

O terceiro momento envolve a escrita propriamente dita do caso hipotético. A literatura sobre o ensino por estudos de caso elenca algumas diretrizes para a sua escrita (Herreid, 2007; Sá & Queiroz, 2010). As considerações desses autores são dirigidas para a formulação de casos das mais diferentes naturezas e objetivos. Em vista disso, selecionamos e adaptamos esse modelo de acordo com os exemplos específicos de Kovac (2004), concebidos explicitamente para a discussão ética – resultando que o caso hipotético:

- **Narra uma história sem desfecho:** a trama deve ter um início, no qual uma situação e seus personagens são apresentados, e um meio, em que estes se deparam com um conflito a ser analisado e resolvido pelos estudantes;
- **É relevante ao leitor:** a situação deve ser familiar ou passível de ser enfrentada pelos estudantes em um futuro próximo;
- **Deve produzir empatia:** a posição ocupada e as características dos personagens devem ser tangíveis aos estudantes, de tal maneira que estes possam se colocar na perspectiva dos personagens;
- **É passível de generalizações:** ainda que as situações sejam específicas, elas devem ser aplicáveis a outros contextos;

- **É curto:** diferentemente dos casos históricos e contemporâneos, os casos hipotéticos devem ser sucintos, o que, em termos práticos, limita sua extensão a poucos parágrafos.

A sistematização de três momentos para a construção de um caso hipotético não deve ser encarada como um passo-a-passo rígido. Na prática, a elaboração transita entre os três momentos, no sentido de refinar continuamente os objetivos almejados para o caso, sua forma e conteúdo.

No que diz respeito a quais aspectos éticos selecionar, introduzir e focalizar nos contextos (histórico, contemporâneo ou hipotético), isto é, os conteúdos éticos explícitos ou subjacentes, pode-se fazer uma primeira categorização em torno de duas classes de aspectos: os referentes à ética científica, e os específicos da ética química. Para discutir a ética científica, pode-se selecionar casos históricos e contemporâneos que envolvam questões referentes à desonestidade acadêmica, como, por exemplo, o plágio, a falsificação e fabricação de resultados, conflitos de interesse, e implicações da produção, inserção ou emprego de tecnologias na Natureza e na Sociedade. De modo análogo, casos hipotéticos podem ser elaborados de modo a abordar, em suas narrativas, uma situação que envolva um dos temas mencionados. Como sugerem Coppola e Smith (1996), esses aspectos podem ser explorados no sentido de abordar como os cientistas lidam com a subjetividade e, também, de explicitar que a prática científica é carregada de valores. Questões como as seguintes podem orientar a discussão de cada um desses temas referentes à desonestidade acadêmica:

- O que é plágio, falsificação de dados e fabricação de resultados?
- Quais as implicações destas condutas para o cientista? E para a comunidade científica? E para a sociedade?
- Sob que circunstâncias (individuais e sociais) os cientistas praticam más condutas científicas?

No que concerne à ética química, como relatado em seções anteriores, as diferentes temáticas da Filosofia da Química possibilitam a identificação de conteúdos que proporcionem sua discussão. Dentre as particularidades da Química, a síntese química pode orientar a seleção e a construção de casos a fim de se discutir a ética química. As seguintes questões éticas podem ser formuladas, visando orientar a discussão do caso, a partir da atividade de produzir novas substâncias químicas (Erduran, 2009; Kovac, 2015; Schummer, 2001b):

- Qual(is) é(são) o(s) propósito(s) de se produzir a substância química?
- Quem fomenta a pesquisa da síntese de substâncias? Quais os critérios adotados?
 - É possível estimar quais são as possíveis consequências resultantes da produção da substância? Como isso pode ser realizado?
 - Qual a responsabilidade do químico que produz uma substância?
 - Qual a responsabilidade da comunidade química quando aceita a publicação de um relato comunicando a síntese de uma nova substância?
 - Mesmo quando as substâncias não são introduzidas no ambiente ou não são comercializadas, os químicos ainda são responsáveis por elas?
 - Qual a responsabilidade dos diferentes agentes (produtores, legisladores e consumidores) quando uma substância química é introduzida e disseminada na Natureza e na sociedade?
 - Os químicos sintéticos, seja como indivíduos ou comunidade, são responsáveis por quaisquer possíveis danos ambientais causados pelo emprego, por outros agentes, de novas substâncias químicas?
 - Em vista da cadeia de agentes envolvidos na síntese, manufatura e emprego de substâncias, como os químicos podem proceder para evitar ou minimizar as possíveis consequências danosas decorrentes da introdução e disseminação de substâncias químicas na Natureza e na sociedade?

Naturalmente, cada caso pode contemplar apenas uma ou algumas das questões mencionadas acima. Não obstante, a particularidade de cada caso pode orientar a produção de outras questões éticas específicas. De maneira geral, as questões propostas devem visar a preparação dos futuros profissionais da Química para discutirem os riscos e incertezas de sua disciplina, bem como para avaliar, balancear e estimar benefícios e malefícios relacionados a ela (Erduran, 2009; Sjöström, 2013).

Uma forma de preparação prévia à aplicação de um caso (histórico, contemporâneo ou hipotético) é escrever *notas de ensino*, as quais são úteis também para outros professores que queiram aplicá-los em suas salas de aula. Herreid (2007) sugere as seguintes seções para comporem as notas de ensino:

1. **Introdução ou Antecedentes:** breve resumo sobre o caso em questão; como ele se relaciona com outros tópicos, assuntos ou temas do curso ou disciplina ou, ainda, como ele se relaciona com problemas na sociedade; se o caso foi

aplicado no passado, esta seção pode apresentar informações a respeito de como ele foi aplicado, destacando, por exemplo, curso ou disciplina, semestre, e quais eram os conhecimentos anteriores que os estudantes possuíam ao se deparar com o caso.

2. **Objetivos do caso:** devem ser listados explicitamente os objetivos que o professor tem em mente com a aplicação do caso, prioritariamente na forma de enunciados diretos e específicos. Esta seção pode contemplar, ainda, uma lista em torno do que os estudantes devem saber e estar aptos a fazer depois que houverem discutido o caso.
3. **Questões centrais:** apresenta os blocos de análise ou questões para a discussão do caso. Estas devem ser enunciadas explicitamente e acompanhadas de uma breve descrição a respeito da resposta razoável.
4. **Gestão de classe:** a ordem e o tempo de cada uma das atividades que serão realizadas em sala de aula devem ser indicadas nesta seção. Tarefas pré-aula, em aula ou pós-aula também devem ser descritas aqui, como, por exemplo, pesquisas ou leituras solicitadas antes da aula; listas de questões que foram dirigidas aos estudantes em sala de aula; e questões de estudo solicitadas após a aula.
5. **Referências:** apresentação das referências consultadas para o caso, e sugestões de leituras complementares.

Há que se considerar, ainda, o modo de se conduzir as questões éticas, tanto científicas quanto químicas, em sala de aula. A promoção de tais discussões deve levar em conta que as pessoas encaram os problemas éticos de modos distintos, influenciados por seus valores, experiências pessoais, acadêmicas e profissionais particulares. Diante disso, diferentes soluções éticas podem ser propostas pelos estudantes, indo além de soluções do tipo “certo” ou “errado”. É uma das características dos problemas éticos assumir uma multiplicidade de soluções ou decisões.

Kovac (2004) considera que isso não implica, necessariamente, em um *relativismo ético*, isto é, na ideia de que padrões morais variam de pessoa a pessoa ou de cultura a cultura e que, conseqüentemente, qualquer decisão ética é válida. Para Kovac, ainda que existam diferenças nos padrões morais entre diferentes culturas e mesmo no âmbito de uma só cultura, “existem boas razões para acreditar que uma ampla concordância sobre um núcleo de valores morais transcende as

diferentes culturas, e que essencialmente todas as pessoas de bom caráter concordarão a respeito da certeza ou incerteza de casos claros” (Kovac, 2004, p. 10). Ainda que idealmente concordemos com Kovac, tendo em vista a complexidade de certos problemas éticos, um acordo entre diferentes pessoas pode ser mais difícil do que o vislumbrado por ele.

Podemos acrescentar, ainda, as seguintes características de um problema ético: nunca sabemos *a priori* todas as possíveis consequências de uma decisão particular; tomamos as melhores decisões que podemos com base nas evidências disponíveis; na prática, nunca temos a prerrogativa de adiar a ação até termos informações completas (Stemwedel, 2016).

Tendo isso em vista, promover discussões de problemas éticos em um grupo de estudantes pode ser uma estratégia fecunda, pelo fato de diferentes raciocínios éticos serem apresentados pelos participantes. Para que isso se torne crítico e reflexivo, o professor deve permitir que as discussões sejam abertas, de modo a não criar obstáculos ou vedar as questões que possam surgir e possibilitar a elaboração dos argumentos. Os estudantes, por sua vez, precisam estar cientes de que a tomada de decisões éticas deve ser acompanhada pela argumentação que sustente as razões consideradas em cada decisão (Contakes & Jashinsky, 2016; Kovac, 1996, 2004). A condução das discussões para resolver um problema ético pode se estruturar em torno dos seguintes passos:

1. *Definir o problema*: reunir o máximo de informação factual possível e identificar as questões éticas envolvidas;
2. *Reunir dados*: determinar alternativas, as partes envolvidas, e as relações entre as partes;
3. *Analisar os dados*: avaliar como cada uma das alternativas afeta as partes envolvidas;
4. *Realizar os julgamentos*: usar o raciocínio moral para determinar quais das alternativas são aceitáveis, quais são inaceitáveis, e, finalmente, qual é o melhor curso de ação (Kovac, 2004, p. 24).

Arelado a isso, a análise de um problema ético pode ser estruturada a fim de se responder a questões como as seguintes (Coppola, 2000; Stemwedel, 2016):

- ✓ O que cada um dos envolvidos sabe?
- ✓ Quais informações são incertas ou desconhecidas para cada um dos envolvidos?

- ✓ Quais são as possíveis ações que os indivíduos envolvidos na situação podem tomar?
- ✓ Quais são as possíveis consequências para cada uma das alternativas?
- ✓ Quais princípios (ou critérios) podem ser usados para decidir qual é a melhor ação?
- ✓ A partir da seleção da melhor ação a tomar do ponto de vista ético, existem aspectos práticos que podem tornar sua estratégia difícil de ser implementada?
- ✓ A quem você pediria conselhos a respeito de como proceder nesse caso?

Dentre as possíveis consequências que o ensino de ética pode produzir, uma delas repercute na posição do professor, que aumenta sua autoridade ética frente aos estudantes. Estes podem procurá-lo em busca de conselhos e, também, tomá-lo em maior grau como exemplo ético a ser seguido (Coppola, 2000).

Diferentemente de um modelo ético a ser seguido, porém, o objetivo da abordagem aqui proposta é desenvolver um raciocínio ético crítico e reflexivo, mais do que prescrever um caminho, solução ou comportamento ético específico, ou seja, o que se propõe é um ensino de ética pautado mais no processo do que no produto. Isso não significa, no entanto, que as discussões sejam isentas de um sentido. O que se pretende, em última instância, é que as escolhas não sejam baseadas apenas no caminho provável de resultar benefícios, desconsiderando danos e malefícios. Por exemplo, a decisão não deve ser tomada em termos unicamente de ganhos individuais, desconsiderando os prejuízos ao coletivo. A escolha do caminho deve evitar ou minimizar os resultados ruins não só para o indivíduo, mas, principalmente, tendo em vista a sociedade e a Natureza.

Além disso, a ênfase no processo justifica-se pelo fato de que em algumas aulas, ou mesmo em uma disciplina inteira dedicada à ética, não é possível abranger todos os problemas éticos que os futuros cientistas e químicos potencialmente enfrentarão. Não só o número de situações, mas também a complexidade e as sutilezas de cada um dos problemas éticos, impossibilita a proposição de uma lista de controle ou receita de comportamentos éticos aptos a garantir *a priori* uma decisão ética bem fundamentada e de acordo a situação.

Procuramos, neste capítulo, estruturar uma fundamentação teórica para o tema ética química, em particular, problemas, conteúdos e possíveis meios de se abordá-la no contexto do ensino de Química. Feito isso, consideramos importante avaliar a pertinência, potencialidade e dificuldades de sua implementação no âmbito empírico,

a sala de aula. Assim, o próximo capítulo discute uma experiência didática voltada a promover a ética química no Ensino Superior.

CAPÍTULO 5 – O ENSINO DE ÉTICA QUÍMICA EM NÍVEL SUPERIOR

5.1. Apresentação

As teses apresentadas e discutidas nos capítulos anteriores, em especial as que se referem à Filosofia da Química (Capítulo 3) e à Ética Química (Capítulo 4), compreendem o arcabouço teórico deste trabalho. Elas não devem ser dissociadas de uma avaliação de seu alcance, significado e implicações na formação dos profissionais em Química. Assim, este capítulo pretende subsidiar, ainda que de maneira preliminar, o desenvolvimento de uma base empírica para o ensino da ética química.

No presente capítulo, as considerações serão dirigidas para avaliar duas experiências (ou intervenções) didáticas, desenvolvidas no âmbito do Ensino Superior, voltadas a promover o *filosofar sobre a Química* a partir do tema *ética química*. Primeiramente, detalharemos a metodologia de pesquisa construída tendo em vista essa finalidade, salientando, em especial, os problemas e os objetivos da pesquisa, os fundamentos teórico-metodológicos, os referenciais e instrumentos utilizados para a coleta, sistematização e análise dos dados. Além disso, considerando que o contexto de investigação é a sala de aula e, em especial, os aspectos envolvidos no ensino da ética química, a metodologia da pesquisa também possui como componente uma parte relacionada à delimitação dos objetivos, conteúdos, metodologia e estratégias empregadas em sala de aula. Por fim, os resultados serão analisados buscando responder nossas questões de pesquisa e em diálogo com nossos referenciais sobre o ensino de Filosofia da Química e Ética Química.

5.2. Justificativa, questões e objetivos

O estímulo em levar discussões sobre a ética química para a sala de aula surgiu pela inexistência de iniciativas semelhantes no contexto brasileiro e, também, como forma de avaliar as potencialidades, limites e dificuldades das reflexões apresentadas, principalmente, nos capítulos referentes à Filosofia da Química e à Ética Química.

Somou-se a isso o desejo e a necessidade de formar profissionais de química críticos e reflexivos sobre questões éticas relacionadas à Química.

A partir desses motivos, as questões que buscamos responder são as seguintes: *Como promover discussões sobre a ética química na formação de futuros profissionais de Química? Quais as potencialidades, limites e dificuldades das abordagens adotadas para essa finalidade? Qual a contribuição da ética química para o desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo dos estudantes sobre a Química?* As duas primeiras questões dizem respeito, essencialmente, a aspectos relacionados ao ensino da ética química e, portanto, visam levantar elementos para que docentes interessados possam conduzir discussões dessa natureza. A terceira questão se volta para a compreensão das implicações de tais discussões na formação dos sujeitos, isto é, seu foco recai sobre a aprendizagem como “uma mudança no repertório comportamental de um aprendiz” (Taber, 2014, p. 1842).

As questões de pesquisa podem ser traduzidas nos seguintes objetivos:

- Promover discussões explícitas sobre temas da Filosofia da Química no Ensino Superior, em especial, sobre aspectos éticos presentes na atividade dos químicos, entre futuros(as) químicos(as) e professores(as) de química;
- Avaliar os benefícios, limitações e dificuldades envolvidos no tema escolhido, bem como avaliar as estratégias adotadas para essa finalidade.

Para atingir os supracitados objetivos, duas intervenções didáticas voltadas a promover discussões sobre a ética química foram realizadas. Seu planejamento é descrito na seção a seguir, detalhando: o contexto no qual as intervenções ocorreram; a estrutura, estratégias e atividades concebidas para sala de aula; e a metodologia de produção, sistematização e análise dos dados produzidos.

5.3. Planejamento da intervenção

5.3.1. Contexto, público e antecedentes

5.3.1.1. Intervenção piloto

As intervenções didáticas foram realizadas em dois contextos diferentes. A primeira ocorreu no âmbito de um encontro nacional de estudantes de Química, realizado em uma Instituição Pública de Ensino Superior, localizada no Estado de São

Paulo. O evento foi organizado por estudantes de Química, com a colaboração de professores da instituição sede, e dirigiu-se a graduandos e pós-graduandos da área.

O principal objetivo do evento era promover o desenvolvimento acadêmico e cultural. No que diz respeito ao primeiro, buscou-se divulgar a Química como ciência e as pesquisas realizadas nessa área, resgatando o papel do químico como profissional atuante no desenvolvimento do país e debatendo o valor da química para a sociedade, por meio de palestras, minicursos e mesas-redondas. O encontro contou, ainda, com sessões de apresentações orais e painéis voltadas à comunicação de pesquisas relacionadas a diversas áreas da Química e de seu ensino.

Dentre os formatos disponíveis, optou-se, para o oferecimento da intervenção didática, por um minicurso com aproximadamente 8h de carga horária, distribuídas ao longo de três dias, no período da manhã. No mesmo período havia outros 11 minicursos oferecidos simultaneamente, abrangendo temas como Química Verde, biocombustíveis, nanociência, fármacos, Química Ambiental e mapas conceituais. A expectativa dos organizadores era que cada minicurso tivesse, no máximo, 50 participantes.

O título do minicurso que disponibilizamos aos estudantes era *Síntese química e implicações éticas: um caso na história da química*, o qual era acompanhado de um resumo justificando a temática, objetivos pretendidos e estratégias que seriam empregadas no minicurso. O minicurso foi ministrado pelo autor desta tese, ocupando a posição de pesquisador-docente, em parceria com seu orientador. Nas seções referentes aos resultados da pesquisa, apresentadas adiante, o primeiro está identificado como *pesquisador 1*, e o segundo, como *pesquisador 2*.

Apesar do evento incluir pós-graduandos, nossa expectativa era que a quase totalidade dos participantes seriam estudantes de graduação, de diferentes períodos, habilitações (licenciatura e bacharelado), e oriundos de diferentes instituições do Brasil. Isso orientou o planejamento do minicurso e os instrumentos de coleta de dados, que serão descritos mais adiante.

A primeira intervenção pode ser considerada um *piloto*, na medida em que permitiu avaliar a confiabilidade dos instrumentos de coleta de dados utilizados – em especial, se os conteúdos e a forma de comunicá-los são inteligíveis pelos participantes da pesquisa, e se as respostas produzidas por eles são coerentes com o que se espera avaliar tendo em vista os objetivos da pesquisa (Yin, 2001). Após essa primeira intervenção, algumas modificações foram implementadas na segunda

intervenção, que descreveremos a seguir. A partir daqui, vamos nos referir a todos os aspectos relacionados à primeira experiência como *intervenção piloto*.

5.3.1.2. Intervenção disciplina HFC

A segunda intervenção ocorreu em uma disciplina de História e Filosofia da Ciência, integrante do curso de Licenciatura em Química, período matutino, de uma Instituição Pública localizada no Estado de São Paulo. O curso de Licenciatura tem duração de 4 anos (ou 8 semestres) e visa formar professores de Química para atuarem na Educação Básica. A forma de ingresso dos estudantes se dá via Sistema de Seleção Unificada (SiSU), um sistema informatizado no qual Instituições Públicas oferecem vagas para participantes do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

O responsável pela disciplina é bacharel e licenciado em Química, mestrado (concluído em 2009) e doutorado (concluído em 2016), em Ensino de Ciências. Nos dois cursos de pós-graduação desenvolveu pesquisas na interface História da Ciência & Ensino de Ciências, com especial interesse na História da Química. É docente da instituição desde 2010, e a partir de então tornou-se responsável pela disciplina de História e Filosofia da Ciência. Além dela, ministra disciplinas de instrumentação para o Ensino de Química, metodologia do trabalho científico e tecnologias da informação no ensino.

A disciplina História e Filosofia da Ciência é obrigatória, não possui pré-requisito e é oferecida na grade curricular aos estudantes do 3º. semestre. Sua carga horária equivale a 57 h. Ao todo, são previstos 19 encontros no semestre, tendo cada um 3 h de duração. Por ocasião da intervenção, as aulas se iniciavam às 8h30 min e terminavam às 11h45 min, incluindo intervalos de 15 min.

Os objetivos gerais da disciplina História e Filosofia da Ciência são dois: apresentar diferentes maneiras possíveis de se abordar a História da Ciência, que devem ser estudados e reconhecidos por professores em prol de um bom uso da História da Ciência em suas aulas; e iniciar um debate entre os licenciandos sobre o que é e como se produz a própria ciência, por meio da Filosofia da Ciência, em oposição a descrições ingênuas, tão comuns em livros didáticos.

Assim, a disciplina abrange os seguintes tópicos: História da Ciência como disciplina e área de pesquisa; historiografia da ciência, diferentes padrões historiográficos e suas implicações no ensino; estudos de caso em História da Ciência;

as bases filosóficas de compreensões amplamente disseminadas sobre a ciência, em especial, o indutivismo ingênuo; tópicos de Filosofia da Ciência, em especial, as teses de Popper, Lakatos, Kuhn, Feyerabend e Bachelard sobre como a ciência se desenvolve; e as visões distorcidas sobre a ciência presentes no Ensino de Ciências.

As principais referências adotadas pela disciplina são artigos ou capítulos de livros sobre historiografia da ciência (Martins, 2005), estudos de caso sobre algum personagem, evento ou período da História da Biologia (Martins & Martins, 1989), História da Física (Martins, 1990a) e História da Química (Vidal, Cheloni, & Porto, 2007); fontes primárias de algum cientista, químico ou filósofo natural (Lavoisier, 2007); e, ainda, trabalhos que teçam considerações sobre a interface História da Ciência & Ensino (Vidal *et al.*, 2007). No âmbito da Filosofia da Ciência, a principal referência são os primeiros capítulos do livro *O que é ciência afinal?* (Chalmers, 1993), em especial, os que tratam da caracterização e críticas ao indutivismo ingênuo. Também é indicado um trabalho da temática Natureza da Ciência (Gil-Pérez *et al.*, 2001). Tais referências, bem como outras não citadas aqui, não só fundamentam a disciplina, mas, também, são encaminhadas para a leitura e discussão com os estudantes.

Em síntese, a disciplina tem dois grandes blocos de trabalho: História da Ciência (e sua historiografia) e Filosofia da Ciência. Além disso, no desenvolvimento de cada um dos blocos são discutidas relações tanto com o Ensino de Ciências quanto com o Ensino de Química. Assim, a História da Ciência e a Filosofia da Ciência não são abordados apenas sob seus próprios vieses, objetivos e interesses, mas são complementados e adequados de acordo com a perspectiva do educador. O intuito é reconhecer as contribuições desses campos para desenvolver uma visão crítica a respeito do papel da Ciência na contemporaneidade e, também, proporcionar elementos para os futuros docentes formarem cidadãos conscientes, autônomos e alfabetizados cientificamente no âmbito da Educação Básica.

A metodologia de ensino é, em geral, expositiva-dialogada. Utiliza-se como recurso o projetor multimídia para a exibição de *slides* por meio de *softwares* como *PowerPoint*[®] ou semelhantes. O recurso também é utilizado para a exibição de vídeos. Outra metodologia adotada pelo docente é o debate, no qual, a partir de um tema, são propostas questões para que os estudantes se posicionem a respeito. Em todas as aulas, independente da metodologia adotada, os estudantes se organizam de maneira a formarem uma roda, possibilitando o diálogo frente a frente entre eles e o docente.

Além disso, antes dos encontros presenciais, questões são enviadas por *e-mail* aos estudantes (no corpo do *e-mail* ou na forma de roteiros de leitura), com o intuito de fazê-los refletir previamente sobre temas ou objetivos específicos da aula. Todos os materiais utilizados em aula, como apresentações em *PowerPoint*[®], textos, vídeos, etc., são disponibilizados aos estudantes.

Os principais instrumentos de avaliação da disciplina são a produção de textos, roteiros de leitura e seminários. Os textos envolvem, geralmente, uma pesquisa extraclasse realizada pelos estudantes sobre um tema particular e orientada por algumas questões. O roteiro de leitura acompanha o(s) artigo(s) ou capítulo(s) do livro que subsidia uma aula, sendo enviados aos estudantes antes da respectiva aula. O objetivo do roteiro é estimular os estudantes a pensarem e escreverem previamente sobre aspectos que serão discutidos em sala. Comumente, os textos e roteiros de leituras produzidos pelos estudantes são discutidos em sala de aula e entregues ao professor ao final da aula. Os seminários são estudos de caso selecionados e apresentados por grupos de estudantes. Tal atividade envolve não só a apresentação do caso propriamente, mas, também, deve promover um debate com toda a classe após a apresentação.

A seguir, exibimos o plano de aulas implementado pelo regente da disciplina de História e Filosofia da Ciência, contendo os conteúdos e atividades de cada aula e destacando a intervenção relativa à ética química. Maiores detalhes sobre esta intervenção serão descritos mais adiante.

Quadro 10 – Plano de aulas da disciplina de História e Filosofia da Ciência

Aula	Conteúdo	Atividade
1	Apresentação da disciplina. A necessária reflexão do professor sobre a Natureza da Ciência e questões historiográficas.	Reconhecimento das expectativas dos estudantes em relação à carreira docente e à contribuição da disciplina em sua formação; Encaminhamento do roteiro de leitura 1, referente ao estudo de caso sobre Lavoisier.
2	Estudo de caso: Lavoisier. Contribuições da História da Ciência no ensino. História da História da Ciência.	Discussão do roteiro de leitura 1; Encaminhamento do roteiro de leitura 2: Pasteur e a questão da abiogênese.
3	Estudo de caso: Pasteur e a questão da abiogênese. Questões historiográficas.	Discussão do roteiro de leitura 2; Análise coletiva sobre os diferentes padrões historiográficos.
4	Estudo de caso: Becquerel e a não descoberta da radioatividade. Questões historiográficas.	Aula expositiva-dialogada sobre o caso; Encaminhamento do roteiro de leitura 3: ciências vs. historiografia.

5	Estudos e meta-estudos. História e Historiografia. Ciência vs. historiografia.	Discussão do roteiro de leitura 3; Encaminhamento de vídeos sobre civilizações da Antiguidade.
6-7	Questões historiográficas: ciência não começa na Grécia; formas de conhecimento na Mesopotâmia; a síntese grega; confluência de culturas; pré-socráticos; Platão.	Apresentação de vídeos sobre civilizações da Antiguidade; Discussão dos padrões historiográficos comunicados nos vídeos; Leitura em sala e coletiva de trechos originais: <i>Timeu</i> e o Mito da Caverna de Platão; Discussão em sala de aula de questões referentes ao Mito da Caverna; Encaminhamento do roteiro de leitura 4: o Aristóteles presente nos livros didáticos.
8	Questões historiográficas: Aristóteles.	Aula expositiva-dialogada sobre Aristóteles; Discussão do roteiro de leitura 4; Encaminhamento do roteiro de leitura 5: Indutivismo – Ciência como conhecimento derivado dos dados da experiência.
9	Tópicos de Filosofia da Ciência: O método empírico-indutivista.	Aula expositiva-dialogada sobre a Filosofia da Ciência e suas contribuições ao ensino; fundamentos e críticas ao método empírico-indutivista; Discussão do roteiro de leitura 5; Encaminhamento da produção de texto 1: Descrever uma visão deformada sobre o trabalho científico; apontar uma situação na qual ela ocorre em sala de aula e sugerir uma estratégia para combatê-la.
10	Tópicos de Filosofia da Ciência: visões deformadas sobre o trabalho científico no ensino.	Aula expositiva-dialogada sobre as visões deformadas; Discussão do texto 1. Encaminhamento do artigo: existe um método científico? A resposta de Popper, Lakatos, Kuhn e Feyerabend.
11	Seminário 1: O caso da Fusão a Frio. Tópicos de Filosofia da Ciência: alternativas ao indutivismo – Popper, Lakatos, Kuhn e Feyerabend.	Apresentação do seminário e debate sobre o episódio, promovido pelo grupo com a classe; Revisão das aulas 9 e 10, seguida de uma introdução breve sobre alternativas ao indutivismo.
12	Seminário 2: Alfred Russel e a origem do homem. Seminário 3: Fritz Haber e a síntese da Amônia.	Apresentação dos seminários e debate sobre os episódios, promovido pelos grupos com a classe.
13	Seminário 4: Teoria da relatividade. Seminário 5: O modelo atômico de Walter Charleton. Ética Química (pré-aula).	Apresentação dos seminários e debate sobre os episódios, promovido pelos grupos com a classe. Informações sobre esta atividade: vide seção 5.3.2.
14	Seminário 6: Michael Faraday e a História Química de uma vela.	Apresentação do seminário e debate sobre o episódio, promovido pelo grupo com a classe;

	Ética Química (I) ¹³⁴ .	Informações sobre esta atividade: vide seção 5.3.2 .
15	Ética Química (II e III) .	Informações sobre esta atividade: vide seção 5.3.2 .
16	Seminário 7: Modelo atômico de Sommerfeld. Seminário 8: História da Alquimia.	Apresentação dos seminários e debate sobre os episódios, promovido pelos grupos com a classe; Avaliação da disciplina pelos estudantes.

Fonte: Adaptado do plano de aulas elaborado pelo docente da disciplina.

É relevante esclarecer aqui alguns aspectos da organização e comunicação de informações desse plano de aulas. Por questões de simplicidade, omitimos algumas informações, como, por exemplo, as datas das aulas e as semanas nas quais as aulas não ocorreram devido a feriados, recessos ou paralisações que impossibilitaram sua realização. Ou seja, a sequência das aulas sofreu algumas interrupções ao longo do semestre.

Além das informações que constam no quadro anterior, atividades adicionais foram realizadas pelos estudantes para atingir a carga horária mínima da disciplina: um fórum de debates no ambiente virtual de aprendizagem (*moodle*) da instituição, a respeito de episódios relacionados à História da Química em vídeos de divulgação; e a produção de um texto descrevendo a visão de quatro epistemólogos da ciência (dois sugeridos pelo docente e dois escolhidos pelos estudantes) e as críticas que podem ser feitas a cada um deles (complemento à aula 11 e aos Tópicos de Filosofia da Ciência).

As aulas 9 e 10, referentes à Filosofia da Ciência, não foram conduzidas pelo regente da disciplina. Dado que seu afastamento de duas semanas, por motivos pessoais, estava previsto desde o início do semestre, inicialmente cogitou-se em realizar a intervenção didática referente à presente pesquisa nesse período. Contudo, pelos motivos que serão descritos no próximo parágrafo, isso foi desestimulado. Uma opção era não realizar aulas nessas duas semanas, opção logo descartada em vista do cronograma apertado da disciplina. Assim, o pesquisador sugeriu ao regente substituí-lo durante o período de afastamento. A sugestão foi aceita, e as aulas foram ministradas pelo pesquisador, seguindo as diretrizes, materiais e atividades comumente utilizados pelo docente. Naturalmente, os vieses do pesquisador em

¹³⁴As aulas de ética química foram numeradas com algarismos romanos com o objetivo de diferenciá-las das demais aulas da disciplina de HFC, numeradas com algarismos arábicos.

relação ao entendimento sobre o tema e seu entendimento sobre *como ensiná-lo* foram levados para a sala de aula.

No que diz respeito às implicações que isso acarretaria para a pesquisa que seria realizada em aulas posteriores, compreendeu-se que tal experiência contribuiria para aproximar o pesquisador dos estudantes da disciplina. Destaca-se que a presença do pesquisador na disciplina de História e Filosofia da Ciência ocorreu em boa parte das aulas descritas no Quadro 10, como forma de conhecer os estudantes, suas ideias, as práticas implementadas pelo professor – em suma, conhecer a rotina instituída em sala de aula. Além disso, o docente da disciplina incentivou o pesquisador a participar de suas aulas no sentido de apresentar outras perspectivas em relação à sua própria fala e às dos estudantes. Por esse motivo, a presença do pesquisador em sala de aula não se deu como observador passivo, mas como participante genuíno daquele grupo social.

As aulas 14 e 15 do Quadro 10 se referem à nossa intervenção. Elas abrangem uma aula e meia, o que equivale a 4h30 min de discussão em sala de aula. O tempo e momento no qual a intervenção ocorreria foi discutido entre orientador, pesquisador e docente da disciplina. Optou-se por promover as discussões da ética química após os tópicos de Filosofia da Ciência, por considerar que as discussões nesse âmbito se caracterizavam por serem generalistas, na medida em que não empreendiam reflexões sobre aspectos particulares da Química. Portanto, a ética química figuraria como um tópico da Filosofia da Química, ampliando os aspectos abordados pela Filosofia da Ciência.

Vale destacar que o próprio docente da disciplina tinha interesses anteriores à nossa pesquisa em promover discussões da Filosofia da Química com seus alunos. O encontro de interesses do pesquisador, de um lado, em planejar, implementar e avaliar um tema da Filosofia da Química inexplorado, e do docente da disciplina, do outro, em discutir esse tema com seus estudantes, resultou em sinergia entre os dois para realizar a pesquisa. O docente esteve presente nas aulas relativas à intervenção aqui proposta, e participou ativamente delas, complementando e apresentando perspectivas diferentes para reflexão coletiva. Assim sendo, nas seções referentes aos resultados da pesquisa, o docente da disciplina será denominado de *regente*.

Daqui em diante, denominaremos este conjunto de atividades de *intervenção disciplina HFC*. Na próxima seção, detalhamos como foram planejadas as aulas de ética química implementadas nos dois contextos descritos.

5.3.2. Plano de aulas: estrutura, estratégias e atividades

Nesta seção, delineamos o plano de aulas dirigido à promoção da ética química em sala de aula. O plano descreve o que foi realizado antes (*pré-aula*), durante (*in-aula*), entre (*inter-aula*) e após as aulas (*pós-aula*). Optamos por apresentar em detalhes apenas o planejamento referente à *intervenção disciplina HFC*, que ocorreu posteriormente à *intervenção piloto*. Isso se justifica pelos seguintes motivos: pontos em comum a respeito da estrutura, metodologia, estratégias e atividades, de maneira que as considerações feitas em relação àquela são válidas, em grande extensão, para esta; e devido aos ajustes realizados após a análise da *intervenção piloto*. Quaisquer modificações e acréscimos realizados na *intervenção disciplina HFC* em relação à *intervenção piloto* são aqui mencionados e justificados.

O cronograma das aulas referente à *intervenção disciplina HFC* é exibido a seguir. Na *intervenção piloto*, todas as atividades foram realizadas em sala de aula. Por outro lado, na *intervenção disciplina HFC* houve atividades extraclasse, por conta do intervalo de uma semana, ou mais, previsto entre as aulas. Além disso, na *intervenção piloto* a carga horária presencial era superior àquela prevista para a *intervenção disciplina HFC*. Desse modo, os estudos realizados em casa pelos estudantes buscaram complementar o que não seria possível realizar em sala. Não obstante, a própria rotina da disciplina de HFC, ao longo de todo o semestre, se desenvolveu no sentido de os estudantes realizarem atividades entre uma aula e outra, não sendo, portanto, algo inesperado para eles/elas.

Quadro 11 – Cronograma das aulas da *intervenção disciplina HFC*

Aula	Atividade	Descrição
Pré-aula	Convite à participação na pesquisa.	Esclarecimentos sobre os objetivos da pesquisa e como ela seria realizada; Modo de participação dos estudantes e garantias éticas; Atividade em sala de aula e via <i>e-mail</i> .
	Encaminhamento do questionário “Concepções prévias sobre ética química”.	Esclarecimentos e recomendações para o preenchimento do questionário; Atividade extraclasse e individual; Data da entrega: Aula I.
I	Aplicação do termo de consentimento livre e esclarecido.	Recapitulação em relação ao modo de participação e garantias éticas; Aplicação e assinatura do termo em sala de aula.
	Discussão: da ética à ética química.	Aula sobre os temas <i>ética, ética profissional, ética científica e ética química</i> , e em torno das questões: O que é ética? O que é ética profissional? Quando e como os problemas éticos ocorrem na prática científica? Os químicos podem enfrentar questões éticas próprias? Como a síntese de novas substâncias resulta em problemas éticos próprios dos químicos?
	Preparação do caso histórico: Thomas Midgley, Jr.	Esclarecimentos em sala de aula a respeito da atividade; Envio do artigo sobre o caso e seu roteiro de leitura, via <i>e-mail</i> ; Envio dos vídeos da <i>TV Escola</i> , via <i>e-mail</i> : O chumbo vital (~28 min); e O buraco no céu (~28 min); Atividade extraclasse e individual; Data de entrega: Aula II.
II	Discussão do caso histórico: Thomas Midgley, Jr.	Apresentação breve do caso: contexto, biografia, processo de obtenção e consequências do uso do tetraetilchumbo e dos CFCs; Discussão, em sala de aula, do questionário sobre o caso; Recebimento das questões ao final das discussões.
III	Aplicação do caso hipotético: <i>Próximo ao limite</i> .	Esclarecimentos sobre a natureza e objetivo da atividade; Leitura e discussão inicial em duplas ou trios, seguidos pelo compartilhamento e discussão, com toda a sala, das considerações e posições de cada grupo; Atividade em sala de aula; Recebimento das questões ao final das discussões.
	Preparação do caso hipotético: <i>Sumiço de uma substância venenosa</i> .	Esclarecimentos sobre o caso; Atividade extraclasse, realizada em duplas ou trios; Data de entrega: pós-aula (via <i>e-mail</i> ou na aula posterior).
	Preparação do questionário “Avaliação sobre ética química”.	Esclarecimentos e recomendações para o preenchimento do questionário; Atividade extraclasse e individual; Data de entrega: pós-aula (via <i>e-mail</i> ou na aula posterior).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na pré-aula, o regente da disciplina cedeu os minutos finais de sua aula 13 (Quadro 10) ao pesquisador-docente, que apresentou informações sobre a

intervenção. Os estudantes foram convidados a participar da pesquisa, tendo recebido esclarecimentos sobre: a importância e os objetivos da pesquisa; como ela seria realizada; qual seria a participação dos estudantes; e as garantias éticas firmadas entre pesquisador e os participantes da pesquisa. No que diz respeito a este último aspecto, os estudantes foram informados sobre o sigilo e confidencialidade do que viria a ser produzido pela pesquisa; receberam a garantia do anonimato dos participantes em posteriores comunicações dos resultados das pesquisas em congressos e publicações; e receberam também a garantia da participação voluntária, sem penalizações aos estudantes que decidissem não participar da pesquisa ou dela se retirar a qualquer momento.

Esses elementos compõem o *termo de consentimento livre e esclarecido* ([Apêndice 1](#)), documento fundamentado em princípios da ética na pesquisa, firmado por escrito entre pesquisador e sujeitos de pesquisa com o intuito de garantir autonomia e esclarecimento na escolha dos participantes, bem como proteção a eles (Guilhem & Diniz, 2008; Taber, 2014). Esse documento somente foi disponibilizado e preenchido pelos estudantes no início da aula I (Quadro 11), de modo a permitir que os estudantes tivessem uma semana para ponderar e decidir se desejavam participar ou não da pesquisa.

Ainda na pré-aula, a primeira atividade da intervenção foi explicada aos estudantes. O questionário “Concepções prévias sobre ética química” ([Apêndice 2](#)) teve como objetivo traçar o perfil dos estudantes sobre o tema *ética química*. O intuito foi reconhecer se os estudantes tiveram contato anterior com o tema, por exemplo, em outras disciplinas, aulas, eventos científicos, etc.; se sim, o que foi abordado em tais oportunidades; quais as compreensões dos estudantes sobre ética em geral, ética científica e ética química; e, também, levantar como os estudantes encaram o estudo da ética química para as suas formações. O questionário foi encaminhado via *e-mail*, recomendando-se a entrega para o início da aula I (Quadro 11). Por conta da aplicação extraclasse, foi necessário enfatizar aos estudantes que nenhuma fonte (livros, artigos, *sites* da internet, etc.) deveria ser consultada para responder ao questionário, e que não haveria prejuízos caso não conseguissem ou não soubessem responder a uma ou mais questões.

A principal diferença entre o questionário aplicado na *intervenção piloto* e na disciplina HFC diz respeito ao primeiro bloco de questões, denominado *perfil* ([Apêndice 2](#)). Na primeira ocasião, não se conhecia a instituição e cidade de origem

dos estudantes, seus cursos, tempo de curso concluído, disciplinas presentes em sua formação relacionadas ao minicurso, etc. Em vista disso, tais indagações foram realizadas na *intervenção piloto*. Porém, no âmbito da disciplina HFC, todas essas informações eram conhecidas previamente e, portanto, foram suprimidas.

No bloco *Questões*, as questões 3 e 4 ([Apêndice 2](#)) constituíam uma única questão na *intervenção piloto*. Observou-se que alguns estudantes tendiam a responder somente à primeira parte da questão, ignorando a segunda parte. Para contornar tal problema, a questão foi dividida em duas. Ainda nesse bloco, a última questão na *intervenção piloto* solicitava uma posição dos estudantes tanto em relação à ética na ciência em geral quanto à ética química em particular. Diante das duas possibilidades, comumente os estudantes manifestavam suas posições apenas em relação à primeira. Com o intuito de dirigir as respostas ao tema de maior interesse, apenas a química foi mencionada no questionário aplicado na *intervenção disciplina HFC*.

No que diz respeito às aulas, a metodologia de ensino fundamentou-se na perspectiva sociocultural, em especial, na psicologia do desenvolvimento de Lev Vygotsky (1896–1934). O cerne da perspectiva sociocultural reside em buscar compreender o desenvolvimento humano, embora não unicamente, pelo seu viés sócio-histórico-cultural, isto é, como um processo que ocorre por interações sociais, influenciada por fatores históricos e culturais (Ribas & Moura, 2006). Esse processo é mediado pela linguagem. É nela, e por meio dela, que o pensamento do indivíduo se materializa, e seu acesso se torna objetivo. A linguagem permite pensar e, também, comunicar ideias a outros no âmbito da realização de uma atividade, na qual a linguagem organiza, designa ações e resolve problemas. A partir do seu emprego e controle, o sujeito recria e reorganiza sua estrutura comportamental, de maneira que, ao fazer isso, ele produz significados (Giordan, 2008; Mercer, 1997).

A partir de tal perspectiva, o processo de ensino-aprendizagem é compreendido como uma atividade social, em que o conhecimento científico é mediado pelo professor e construído pelo estudante em colaboração com o professor e com os outros estudantes, por meio da linguagem. Isso implica na cooperação ativa entre as partes. Os estudantes devem aplicar-se ativamente para desenvolver e consolidar sua própria compreensão, e isto não pode ser feito simplesmente escutando informações apresentadas pelo professor. O papel do professor é oferecer condições para que isso se realize, visto que ele é o centro organizador e promotor da compreensão. Ele deve

planejar e realizar atividades que engajem socialmente os estudantes, por exemplo, estimulando-os a dialogarem com as ideias apresentadas e, também, promovendo problemas e tarefas nas quais grupos de estudantes colaborem entre si para resolvê-los (Silva & Aguiar, 2008). Estimular os estudantes a comunicarem suas ideias baseia-se no princípio de que explicar suas próprias ideias a alguém promove o desenvolvimento por torná-la explícita, organizada e distanciada (Mercer, 1997).

Posto isso, as aulas de ética química foram estruturadas a partir de três eixos: fundamentos filosóficos em torno da ética química, promovidos pela Filosofia da Química; contextualização histórica de problemas éticos, oriundos da História da Química; e contextualização contemporânea de problemas éticos, por meio de casos hipotéticos inspirados na atividade científica e química.

No âmbito da *intervenção piloto*, cada um dos eixos estruturou um dia de minicurso (~ 2h30min de duração cada). No caso da *intervenção disciplina HFC*, o primeiro eixo estruturou metade de uma aula (~ 1h30min), e os outros dois constituíram uma aula inteira (somando aproximadamente 3h). Para facilitar as comparações entre as duas intervenções, vamos considerar que cada eixo definiu uma aula: no caso da *intervenção piloto*, foram, de fato, 3 aulas de ~2h30min cada; no caso da *intervenção disciplina HFC*, podemos considerar 3 “aulas” de ~1h30min cada (que corresponderam, de fato, a uma aula e meia na disposição temporal da disciplina, cujas aulas são de 3h).

Na aula I, o intuito foi esclarecer inicialmente aos estudantes o objetivo de todas as aulas da intervenção, que era promover reflexões éticas sobre a atividade química por meio de caso históricos e hipotéticos. Também se esclareceu que *ensinar como ser ético* não estava entre os objetivos e tampouco seriam abordados problemas éticos como plágio, falsificação e fabricação de resultados, ainda que importantes.

A metodologia de ensino adotada foi expositiva-dialogada, utilizando como apoio a projeção de *slides* por meio do *PowerPoint*[®]. Os principais temas da aula I foram: *ética; ética profissional; ética científica; e ética química*. Em linhas gerais, a primeira aula da *intervenção piloto* apresentou a mesma linha condutora, mas, na *intervenção disciplina HFC*, cada um dos temas foi aprofundado, e foram apresentados mais exemplos e situações para se refletir. Além disso, o conhecimento adquirido pelo acompanhamento da disciplina até a intervenção influenciou a preparação das aulas – recorrendo-se, por exemplo, a temas, ideias e exemplos discutidos anteriormente na disciplina.

Para incentivar a participação e estabelecer um diálogo com os estudantes, uma ou mais questões foram elaboradas para cada um dos temas, e dirigidas aos estudantes ao longo da aula. As questões foram propostas antes da apresentação e discussão das ideias temas da aula, permitindo o levantamento das ideias prévias dos estudantes. Dentre as questões, podemos citar as seguintes: *O que é ética? Os códigos de ética seguidos pelas diferentes profissões são iguais? Como os problemas éticos ocorrem na atividade científica? Os químicos podem enfrentar problemas éticos próprios, diferentes de outros cientistas? Como a síntese de novas substâncias resulta em problemas éticos próprios dos químicos?*

No fim da aula I, os estudantes foram avisados a respeito das atividades que deveriam ser realizadas antes da aula II: ler o artigo “O desenvolvimento de novas substâncias na primeira metade do século XX: o caso de Thomas Midgley, Jr.”, de Viana e Porto (2012); e responder ao roteiro de leitura do artigo ([Apêndice 3](#)). Também se sugeriu que os estudantes assistissem, em caráter opcional, a dois vídeos da *TV Escola* que foram disponibilizados via *e-mail*: *O chumbo vital* e *O buraco no céu*, cada um com aproximadamente 28 minutos de duração. Os estudantes tiveram duas semanas para efetuar essas atividades.

O artigo de Viana e Porto (2012) discute a produção de duas substâncias, o tetraetilchumbo e os clorofluorocarbonetos (CFCs). Essas substâncias foram produzidas sob circunstâncias e propósitos diferentes na primeira metade do século XX, mas tiveram em comum a participação de uma mesma pessoa, o engenheiro mecânico Thomas Midgley, Jr. Dentre os diferentes aspectos que podem ser discutidos a partir desse caso histórico, nosso interesse reside nas implicações éticas da síntese química, em especial, a disseminação em larga escala de substâncias químicas na sociedade e no ambiente.

O tetraetilchumbo foi utilizado durante décadas como um aditivo antidetonante na gasolina, ainda que a toxicidade dos compostos de chumbo fosse conhecida havia séculos. Os CFCs, por sua vez, foram estudados pela equipe liderada por Midgley, e exibiam propriedades ideais para seu uso como fluidos refrigerantes (não inflamáveis, não tóxicos, baratos e com as adequadas propriedades de engenharia). Após décadas de uso em refrigeradores, aparelhos de ar condicionado e aerossóis, constatou-se que eles eram responsáveis pela destruição da camada de ozônio presente na estratosfera.

O roteiro de leitura, em particular, orientava os estudantes para os seguintes problemas éticos relacionados ao caso: o conflito de interesses caracterizado no fato de um parecer favorável ao uso do tetraetilchumbo ter sido emitido por um médico contratado pela própria indústria que o produzia; os riscos de se introduzir novas substâncias no ambiente, tendo em vista que os CFCs foram considerados ótimos fluidos para a indústria de refrigeração e como propelentes de aerossóis, não se vislumbrando durante décadas que esses compostos representavam riscos para a camada de ozônio; e como proceder em relação à produção e disseminação de substâncias químicas na sociedade e ambiente.

Os vídeos foram sugeridos com o intuito de reforçar aspectos presentes no artigo e complementar informações. O *chumbo vital* apresenta uma narrativa histórica semelhante àquela presente no artigo de Viana e Porto (2012) a respeito do desenvolvimento do tetraetilchumbo. O *buraco no céu* complementa o artigo, na medida em que este é sucinto em relação a como ocorreu a descoberta do buraco na camada de ozônio. Foi enfatizado aos estudantes que os vídeos não deveriam substituir a leitura do artigo, pois os principais aspectos a serem discutidos constavam do texto escrito.

A aula II apresentou brevemente o caso de Midgley. A narrativa histórica abordou o contexto histórico (científico-tecnológico, social e econômico), a biografia do personagem, os processos de obtenção, comercialização e consequências do uso do tetraetilchumbo e dos CFCs. A metodologia de ensino para o caso histórico foi expositiva-dialogada, utilizando como apoio a projeção de *slides* por meio do *PowerPoint*[®].

No decorrer da aula II da *intervenção disciplina HFC*, as questões do roteiro de leitura foram introduzidas nos momentos apropriados da narrativa, sendo dirigidas e discutidas com toda a classe. Na *intervenção piloto*, as questões foram propostas ao final da narrativa histórica. A mudança em relação ao piloto ocorreu devido ao menor tempo disponível em sala, e também para manter a estratégia utilizada na aula I. Além disso, os vídeos não foram utilizados na *intervenção piloto*, e tampouco o artigo foi disponibilizado para a leitura dos estudantes.

A aula III consistiu na aplicação do caso hipotético *Próximo ao limite* ([Apêndice 4](#)). O caso hipotético apresenta duas partes: a descrição de uma situação; e questões para refletir sobre o caso. Na primeira parte, descreve-se uma situação na qual a química Mariana, trabalhando em um laboratório de análises ambientais, enfrenta um

problema ético. A química suspeita que a qualidade da água da represa responsável por abastecer a população local está em risco. Seu superior argumentou que os testes realizados por ela ainda estão abaixo do limite estabelecido por órgãos ambientais e, também, que a realização de mais análises custaria tempo e dinheiro. A química encontra-se em um dilema a respeito de qual ação pode tomar em vista da situação descrita.

As questões que acompanham o caso hipotético visaram: estimular os estudantes a pensarem em todas as possíveis ações (ou decisões) que Mariana pode tomar, inclusive aquelas com que os estudantes não concordam; análise das possíveis consequências para todas as ações imaginadas; e reflexão sobre a tomada de decisão dos estudantes considerando todos os pontos levantados.

A metodologia de ensino adotada na aula III foi o trabalho em grupo. Os estudantes foram divididos em duplas ou trios. Inicialmente, eles foram esclarecidos sobre o objetivo da atividade: refletir sobre um problema ético com o qual um químico pode se deparar em sua profissão. Os grupos então leram o caso hipotético, discutiram entre si cada uma das questões e escreveram suas respostas. Posteriormente, cada grupo apresentou suas considerações para toda a sala. Ao longo do processo, o papel do pesquisador-docente foi aprofundar, complementar e apresentar outros pontos de vista em relação aos mencionados pelos estudantes. No final, o pesquisador-docente destacou os limites de um caso hipotético em relação aos problemas éticos “reais”, que podem ser mais complexos que os imaginados.

Na *intervenção disciplina HFC*, um segundo caso hipotético foi encaminhado, ao final da aula III, para ser discutido pelos mesmos grupos, porém fora do horário de aula. O caso denomina-se *Sumiço de uma substância venenosa* ([Apêndice 5](#)), e tem como personagem um químico orgânico que desenvolve pesquisas em um laboratório de pesquisa. Em uma das etapas de uma rota sintética, ele produz uma nova substância química. Após alguns testes, o químico constata que a substância é bastante tóxica. Ele etiqueta a substância com nome e fórmula, e a guarda em um local seguro do laboratório. Decorrido algum tempo, o químico volta a procurar pelo frasco da substância, mas não o encontra. Dias depois, o funcionário responsável pela limpeza do laboratório é hospitalizado com suspeita de intoxicação. O funcionário acredita que a intoxicação ocorreu após a limpeza de um frasco que ele quebrou acidentalmente no laboratório. Ao fazer a limpeza, ele não tomou nenhuma precaução especial de segurança.

As questões que acompanham o caso buscam identificar todas as partes envolvidas na intoxicação do funcionário; avaliar as responsabilidades de cada um dos envolvidos, mencionados ou não pelo caso; e se há ou não um “culpado” ou “culpados” pela intoxicação.

Na *intervenção piloto*, ambos os casos hipotéticos foram aplicados sem modificações e discutidos em sala de aula. Na *intervenção disciplina HFC*, por conta do tempo disponível, optou-se por discutir apenas um deles em sala de aula. O caso hipotético *Próximo ao limite* foi escolhido, por considerarmos que ofereceria maior riqueza de possibilidades para reflexões.

Ainda na aula III, os estudantes foram informados da última atividade da intervenção, o questionário “Avaliação sobre ética química” ([Apêndice 6](#)), cujo preenchimento era individual. O questionário foi enviado aos estudantes via *e-mail*, tendo-se solicitado que o questionário somente fosse respondido após a conclusão do caso hipotético. O questionário pretende avaliar as compreensões dos estudantes a respeito dos riscos envolvidos na produção de novas substâncias, de como podemos proceder para minimizar os riscos, e quais as responsabilidades dos químicos ao introduzir, ainda que indiretamente, novas substâncias no ambiente e na sociedade. O questionário inclui questões para os estudantes avaliarem seu aprendizado nas aulas de ética química, em especial, se as aulas mudaram (ou não) suas compreensões iniciais sobre o tema, e como isso ocorreu (ou não). Também se solicitou uma análise crítica dos estudantes sobre as aulas, comentários sobre as estratégias e atividades utilizadas, o que pode ser melhorado, etc.

O questionário de avaliação utilizado na *intervenção piloto* foi idêntico ao utilizado na *intervenção disciplina HFC*. Contudo, na primeira intervenção, o questionário foi aplicado em sala de aula ao final do minicurso, enquanto que na disciplina HFC seu preenchimento ocorreu fora do horário de aula, devido às restrições de tempo. Os estudantes entregaram as atividades referentes à aula 3 por *e-mail* ou no início da aula seguinte (a última da disciplina de HFC).

5.3.3. Produção, sistematização e análise dos dados

O ensino de ética química, no contexto da formação de profissionais da Química em nível superior, é uma iniciativa nova. Diante disso, esta pesquisa se caracteriza

por ser exploratória, e seu interesse reside em responder a questões sobre como e por que promover tais discussões.

A metodologia de produção, sistematização e análise da intervenção fundamenta-se na perspectiva sociocultural. Isso significa que o pesquisador é parte integrante do processo investigativo, e que suas ações e efeitos constituem elementos de análise; que o interesse reside no processo mais do que no produto, por conta da historicidade inerente às dinâmicas sociais; e que a linguagem é reconhecida como meio para construir conhecimento e compreensão (Freitas, 2002; Giordan, 2008; Mercer, 1997).

O objeto primeiro desta pesquisa são as aulas I, II e III de ética química na disciplina de HFC. A produção de dados a partir desse objeto resulta do emprego de três instrumentos metodológicos: registro audiovisual das aulas; documentos escritos produzidos em sala e fora dela pelos participantes da pesquisa; e observação participante pelo pesquisador-docente das aulas anteriores à intervenção da disciplina de HFC.

O emprego de diferentes instrumentos de coleta de dados tem por objetivo triangular os dados produzidos por eles (Ollaik & Ziller, 2012; Yin, 2001). Cada instrumento tem vieses e limitações particulares. Dessa forma, os dados obtidos em cada um deles podem ser comparados entre si com a finalidade de avaliar a confiabilidade dos resultados e suas interpretações. Por exemplo, interpretações inferidas a partir de um instrumento podem ser corroboradas por outro instrumento; e os limites de uma interpretação podem ser reconhecidos devido às diferenças observadas entre os dados produzidos por diferentes instrumentos.

O registro audiovisual justifica-se pelo fato do contexto a ser analisado, a saber, uma aula, envolver um conjunto de ações humanas complexo e difícil de ser descrito enquanto ela se desenvolve em tempo real. Ademais, na presente situação, a posição de docente do pesquisador compromete sua atenção e esforço para a condução da aula, impossibilitando ou, no mínimo, dificultando o registro de informações relevantes à pesquisa no momento em que elas ocorrem. Aspectos importantes ou interessantes para a pesquisa podem passar despercebidos devido à preocupação com a condução da aula. Além disso, o registro audiovisual captura o contexto das interações verbais estabelecidas ao longo da intervenção, e possibilita o acesso contínuo aos dados, permitindo reavaliações das interpretações empreendidas pelo próprio pesquisador ou outros pesquisadores (Loizos, 2008).

Uma única câmera, fixa, sustentada em um tripé e sem operador, foi posicionada em um dos cantos da sala de aula, obtendo-se uma perspectiva panorâmica. Considerando a videogravação da *intervenção piloto*, concluiu-se que o equipamento utilizado e a disposição adotada eram suficientes para um registro com boa qualidade de áudio e vídeo. Certamente, há limitações em tal opção, pois não há como registrar os detalhes das interações, como gestos, olhares, expressões, etc., para todos os participantes. Esses detalhes fazem parte do contexto extra-verbal. Considerando, porém, que nosso interesse reside majoritariamente na forma e no conteúdo dos enunciados dos sujeitos, os registros obtidos se mostraram plenamente satisfatórios.

Dependendo do público, torna-se necessário apresentar previamente os equipamentos aos sujeitos de pesquisa, a fim de que se acostumem com a ideia de que serão filmados (Garcez, Duarte, & Eisenberg, 2011). Pode-se, ainda, posicionar a câmera em sala antes da pesquisa, como forma de ambientá-los. A experiência anterior na *intervenção piloto*, cujos participantes eram estudantes do Ensino Superior, revelou que a presença da câmera não distraiu ou inibiu os participantes da pesquisa de maneira perceptível. Assim, antes da *intervenção disciplina HFC*, os estudantes foram avisados do uso da câmera, dos motivos para a sua utilização e de como ela seria posicionada (Quadro 11, Pré-aula), mas não foi feita a ambientação em aulas anteriores.

A partir do registro audiovisual, foi produzido um *mapa de episódios* para cada aula (Mortimer *et al.*, 2005; Silva, 2008; Silva & Mortimer, 2010). O mapa fornece um panorama geral da aula e a representa tal como se organizou e desenvolveu, contextualizando as ações e os discursos produzidos em sala de aula. Seus elementos constituintes são os episódios, um conjunto de ações realizados pelos participantes de uma interação com o intuito de produzir significados em uma atividade. Por exemplo, chamar a atenção dos estudantes para que se sentem em suas cadeiras para iniciar uma aula, e a efetivação desta solicitação por parte deles, pode ser encarado como um episódio de uma aula. As orientações dadas pelo professor sobre como preencher um questionário, e seu preenchimento efetivo pelos estudantes, constitui um segundo episódio. No decurso de uma aula, os dois eventos podem ser discernidos quanto ao tempo de início e fim.

Desse modo, o mapa visa segmentar uma aula em uma série temporal de episódios, com início e fim definidos pela atividade realizada. Para isso, assiste-se às aulas com o intuito de identificar os episódios, que em seguida são organizados de

acordo com as categorias que compõem o modelo de mapa de episódios proposto por Silva (2008): número do episódio; tempo inicial; duração; formas de interação; recursos materiais; fases da atividade; posição dos participantes no espaço físico; ações do professor e dos alunos; tema; e observações. As categorias são dispostas em um quadro, no qual cada linha se refere a um episódio e as colunas se referem às categorias. Nesse processo, o reconhecimento dos episódios é auxiliado por marcadores utilizados no decorrer da aula. Em geral, eles destacam a mudança de propósito entre as diferentes atividades realizadas ao longo da aula, como, por exemplo, “está tudo bem por aqui?”, “agora vamos passar a um novo conteúdo”, etc.

Os mapas proporcionam diferentes benefícios à pesquisa. Eles mitigam o retorno ao registro audiovisual. Quando o retorno é inevitável, o mapa o dirige ao ponto de interesse do pesquisador, tornando o acesso preciso, fácil e rápido. Mais importante é que sua construção inicia o processo de reconhecimento e sistematização dos dados. O pesquisador deve assistir inúmeras vezes ao registro para construir um mapa detalhado. Ao longo desse processo, o pesquisador constrói paulatinamente uma intimidade com os dados, reconhecendo ideias, posições, comportamentos, ações, etc., pertinentes à sua pesquisa. Além disso, dada a diversidade de aspectos presentes em uma aula, o conhecimento de todos seus episódios possibilita que o pesquisador selecione aqueles que são de interesse para sua pesquisa.

Após a construção dos mapas, os episódios de interesse foram selecionados de acordo com as questões de pesquisa e seguindo os referenciais teórico-metodológicos. Esses episódios permitiram a produção de um mapa de sequências discursivas (Mortimer *et al.*, 2005; Silva, 2008; Silva & Mortimer, 2010). Uma sequência discursiva possui um tema característico, assim como os episódios. Porém, cada sequência discursiva se refere a um tema específico, refinando o tema amplo do episódio em vários temas específicos. Os mapas indicam, ainda, a estrutura de interação realizada ao longo da sequência discursiva, descrevendo as trocas de turnos de fala entre o pesquisador-docente e os participantes da pesquisa. A elaboração dos mapas de sequências discursivas foi feita conforme as categorias de Silva (2008): número e tema do episódio; o número de cada sequência discursiva relacionada ao respectivo episódio; os tempos iniciais e finais; o tema; e as estruturas de interação de cada sequência discursiva.

Ao partirmos de um mapa de episódios em direção a um mapa de sequências, estamos empreendendo seleções sucessivas. Embora cada um dos mapas tenha

diferentes enfoques, eles comunicam-se entre si e informam um ao outro reciprocamente, de modo a proporcionar um sentido mais amplo para a análise (Silva & Mortimer, 2010).

O mapa de sequências discursivas orienta, por sua vez, a transcrição das sequências. Não há necessidade da transcrição integral do registro audiovisual, apenas das sequências discursivas de interesse. As transcrições, assim como os mapas, visam destacar os aspectos mais significativos de acordo com os interesses específicos do pesquisador, de maneira a circunscrever as fronteiras do que se deseja analisar (Martins, 2006).

As seguintes regras pautaram a transcrição da linguagem oral: pausas na fala são indicadas por barra simples (/); utilizamos colchetes ([]) em duas falas consecutivas para indicar falas simultâneas; a barra dupla (//) indica que a fala foi interrompida pela seguinte; entonações mais intensas são destacadas por **negrito**; e comentários sobre o contexto são inseridos entre parênteses duplos ((())). O recurso apenas às regras de Silva (2008) pode dificultar o entendimento do que é dito, pois falas longas e sem interrupções podem ocorrer. Por esse motivo, utilizamos também sinais gráficos, como a vírgula (,) e o ponto final (.), para facilitar a leitura e compreensão dos leitores.

Os dados produzidos a partir do registro visual foram complementados, quando pertinente, por dados recolhidos em todas as atividades escritas produzidas pelos estudantes ao longo da intervenção, as quais foram descritas no plano de aulas (Quadro 11). As produções escritas são as seguintes: questionário “Concepções prévias sobre ética química” ([Apêndice 2](#)); roteiro de leitura “Thomas Midgley, Jr.” ([Apêndice 3](#)); Caso hipotético: *Próximo ao limite* ([Apêndice 4](#)); Caso hipotético: *Sumiço de uma substância venenosa* ([Apêndice 5](#)); e questionário “Avaliação sobre ética química” ([Apêndice 6](#)). O conhecimento adquirido antes da intervenção, pela observação participante da disciplina HFC, também forneceu subsídios pertinentes.

A análise foi orientada pelas questões de pesquisa: *Como promover discussões da ética química na formação de futuros profissionais de Química? Quais as potencialidades, limites e dificuldades das estratégias adotadas para essa finalidade? Qual a contribuição da ética química no desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo dos estudantes sobre a Química?*

No âmbito da sala de aula, o interesse da análise recaiu sobre a interação verbal entre pesquisador e participantes da pesquisa. É no plano social, situado

historicamente e condicionado pelos arranjos sociais, que a língua (ou sistema de signos) evolui e se modifica. O dialogismo constitui o princípio da comunicação (interação) verbal, pois a constituição e a apropriação da fala do outro se dá à sua maneira, na medida em que se opõe a ela e a recontextualiza, concordando, rejeitando ou alterando seu sentido. É na interação verbal que se produzem, definem e negociam os sentidos (Giordan, 2008; Veneu *et al.*, 2015).

Ao longo da análise, aspectos contextuais foram considerados para o entendimento da interação verbal, não só em relação ao contexto imediato na qual a interação verbal se desenvolveu, mas, quando necessário, recorreu-se a informações contextuais mais amplas.

5.4. Resultados e discussão: o ensino de ética química

5.4.1. Perfil dos participantes

A *intervenção piloto* contou com 12 participantes (8 mulheres e 4 homens). A faixa de idade dos estudantes variou de 18 a 38 anos, sendo que a idade média do grupo era de 22 anos. Todos os participantes eram oriundos de Universidades públicas brasileiras, situadas em diferentes Estados do Brasil: São Paulo, Rio de Janeiro, Ceará, Mato Grosso, Bahia e Distrito Federal. Na ocasião, todos os participantes cursavam Licenciatura em Química e/ou Bacharelado em Química. Um dos participantes relatou ser graduado em História. A porcentagem dos respectivos cursos já concluída pelos participantes se distribui de 25 a 50% (3 participantes); mais de 50% e menos de 75% (6 participantes); acima de 75% (2 participantes); e 100% concluído (1 participante).

No que diz respeito ao contato anterior com o tema Ética na Ciência ou Ética na Química, a metade dos participantes relatou a presença de discussões a respeito na Graduação. Os principais conteúdos/temas/ideias mencionados foram: ética geral; ética na pesquisa, em especial, na pesquisa com seres humanos e com íntima associação à indústria farmacêutica (teste de medicamentos); más condutas científicas, especialmente a tríade plágio, falsificação e fabricação de resultados (circunstâncias envolvidas e exemplos históricos e contemporâneos); e a conduta profissional dos químicos no trabalho e frente à sociedade.

Por sua vez, a intervenção na disciplina HFC contou com 25 participantes (15 mulheres e 10 homens). A faixa de idade dos estudantes variava de 19 anos até 33 anos, sendo 22 anos a média de idade. Como mencionado anteriormente, a disciplina de HFC é oferecida aos estudantes do 3º. semestre do curso de Licenciatura em Química; porém, um dos participantes era aluno da Licenciatura em Ciências Biológicas. Três alunas já eram graduadas em outras áreas: Farmácia, Educação Física e Eletrônica; e uma aluna iniciou, mas não concluiu, o curso de Pedagogia. Os demais estudantes estavam cursando sua primeira graduação.

A maioria dos estudantes (13 dos 18 que responderam ao questionário “Concepções prévias sobre ética química”) declarou ter tido algum contato anterior com temas referentes à ética, citando o próprio curso de Licenciatura em Química e, em especial, a disciplina de HFC. Alguns citaram contatos anteriores ao curso de Licenciatura, como no curso técnico em Química e no curso de graduação em Farmácia. As menções dos estudantes abrangem os seguintes assuntos: ética e moral; ética na pesquisa e comitês de ética na pesquisa, em especial, nas pesquisas com seres humanos envolvendo testes de medicamentos; ética na contratação de funcionários e no trabalho em empresas; e as normas éticas estabelecidas pelo Conselho Regional de Química (CRQ).

O contato anterior com questões éticas predominou, segundo os estudantes, no curso de Licenciatura e na disciplina de HFC (o Quadro 10 apresenta o plano de aulas da disciplina). Um grupo de estudantes identificou que questões éticas foram discutidas em casos históricos da disciplina: no episódio da fusão a frio, em que se discutiu as condutas dos químicos que divulgaram suas descobertas em uma entrevista coletiva à imprensa, antes de passarem pelo crivo dos pares; no caso do químico alemão Fritz Haber, envolvido na produção de armas químicas na Primeira Guerra Mundial; e na controvérsia sobre a geração espontânea envolvendo Pasteur e Pouchet, em que se discutiu as condutas de cada cientista e seus interesses na busca pelo prêmio concedido pela Academia de Ciências da França. Os dois primeiros casos foram apresentados na forma de seminários organizados pelos próprios estudantes; contudo, é de se notar que a menção a esses casos não foi feita pelos próprios seminaristas, mas por estudantes presentes nos seminários. A controvérsia entre Pasteur e Pouchet estruturou a aula 3 da disciplina HFC e foi conduzida pelo regente da disciplina. Ressalta-se que o objetivo da aula e dos seminários não era discutir

explicitamente questões éticas na Ciência ou na Química. Os estudantes avaliaram retrospectivamente que tais casos históricos retratavam questões da ética na Ciência.

Além de referências a aulas específicas, outro grupo de estudantes mencionou, sem especificar precisamente em quais momentos, que a disciplina abordou a influência/papel/atitude do cientista e da ciência na sociedade, a conduta do cientista ao produzir ciência e o uso dos produtos da ciência para fins bélicos. Tais temas se manifestaram na discussão do ideal de “neutralidade científica”, que também foi mencionado por alguns estudantes. Esse tema foi abordado não apenas na controvérsia entre Pasteur e Pouchet, mas, também, na aula sobre visões distorcidas acerca da ciência presentes no Ensino de Ciências. Uma dessas visões distorcidas, a visão descontextualizada e socialmente neutra da ciência, inclui o ideal de neutralidade científica.

Em linhas gerais, em ambas intervenções foi possível observar que uma parcela significativa de estudantes teve contato anterior com discussões da Ética na Ciência ou, no mínimo, reconheceu situações anteriores que tangenciam essa temática. Contudo, problemas éticos decorrentes da atividade química – com exceção do uso de gases tóxicos na Primeira Guerra Mundial e, indiretamente, o teste de fármacos em seres humanos¹³⁵ – representam a menor parte das possibilidades levantadas pelos estudantes. Esse aspecto é abordado em maiores detalhes na próxima seção, que trata das compreensões prévias dos estudantes sobre a temática em questão.

5.4.2. Reconhecimento de concepções prévias

A partir do questionário “Concepções prévias sobre ética química”, buscou-se reconhecer as compreensões dos estudantes sobre ética – em termos gerais, no âmbito da Ciência e especificamente na Química. Na *intervenção piloto*, todos os participantes preencheram o questionário (12 participantes), e na *intervenção disciplina HFC*, 18 estudantes o preencheram.

Nas duas intervenções, o entendimento mais comum entre os estudantes, a respeito do significado de ética, foi o referente a uma conduta (ou forma de agir),

¹³⁵A pesquisa em seres humanos e, em especial, o teste de medicamentos/fármacos em seres humanos, é um problema ético discutido pela disciplina de bioética. Químicos podem não estar envolvidos propriamente nos testes, mas na etapa anterior de síntese dos novos fármacos. Por isso, estamos considerando como sendo um problema ético relacionado “indiretamente” à atividade química.

fundamentada em um conjunto de valores e princípios, que busca o bom convívio entre os seres humanos. A seguir, apresentamos algumas respostas que exemplificam esse entendimento¹³⁶:

Ética é um conjunto de valores que cada indivíduo segue para não infringir os direitos do outro (ANA PAULA – *Intervenção disciplina HFC*).

Considero, até então, que ética é uma conduta que pressupõe um conjunto de valores sociais que visam um bem comum, no sentido de preservação dos direitos humanos nas diversas áreas (LUIZA – *Intervenção disciplina HFC*).

Para definir ética eu costumo pensar em três aspectos: 1 - Quero? algo que se quer fazer por livre e espontânea vontade; 2 - Posso? tem-se a permissão e a capacidade; 3 - Devo? é algo correto e benéfico. Tendo “sim” para essas três respostas, pra mim é algo ético. Vai além da sua vontade e levam em consideração o pensamento nos outros e no bem alheio (NATASHA – *Intervenção disciplina HFC*).

Toda ação pensada que não implica em atos prejudiciais à sociedade ou àqueles a sua volta (VINÍCIUS – *Intervenção piloto*).

A primeira dificuldade em torno da discussão da ética geral é que ela pode ser associada pelos estudantes com a *moral*. Nas intervenções, não se tinha por objetivo abordar o que é moral e como ela se relaciona com a ética. Contudo, os estudantes podem estruturar seu entendimento sobre a ética a partir da moral, tal como se apresenta nas seguintes respostas à questão “O que é ética?”:

Diferente da moral que expõe à sociedade a nossa conduta. A ética é quando não há uma regulamentação e/ou fiscalização explícita, e ainda assim respeitamos os direitos humanos e tomamos condutas que não ferem o direito do próximo (PAMELA – *Intervenção disciplina HFC*).

Em minha opinião, ética está relacionada a ações socialmente aceitáveis, isto é, atitudes bem vistas perante à sociedade, visando ao bem comum, ao bem-estar social. O termo ética diferencia-se de moral pelo fato de esta representar atitudes individuais, escolhidas livremente por cada indivíduo (SONIA – *Intervenção disciplina HFC*).

Para mim, ética é um conjunto de valores morais que constituem o pensamento e a forma de agir de um cidadão (VAGNER – *Intervenção disciplina HFC*).

¹³⁶A fim de preservar o anonimato dos participantes da pesquisa, todos os nomes dos estudantes foram substituídos por pseudônimos.

No capítulo 4, apontou-se que há diferentes entendimentos sobre o significado e a relação entre ética e moral, de acordo com o referencial adotado. Por isso, cunhamos nosso próprio entendimento, no qual a moral se associa a um padrão de conduta recebida pela tradição ou hábito, enquanto a ética se caracteriza por sua dimensão consciente e refletida, que orienta quais condutas devem ser seguidas. Ainda que não seja o objetivo aprofundar essas discussões, elas podem ocorrer em sala de aula devido à associação entre moral e ética por parte dos estudantes. Pelo fato de nosso referencial não ter dedicado um maior refinamento para tais questões, torna-se necessário aprofundá-las com novos referenciais, caso o intuito seja ampliar a compreensão dos estudantes em torno delas.

Perguntou-se aos estudantes em quais situações os cientistas poderiam enfrentar problemas éticos. As respostas foram sistematizadas nas seguintes classes: 1) no teste de medicamentos em animais e humanos; 2) no emprego da ciência e tecnologia para fins bélicos; 3) em qualquer situação que cause danos aos seres humanos, sociedade ou ambiente; 4) na avaliação de trabalhos feitos por outros cientistas; 5) no momento de reconhecer o trabalho de outros colegas; 6) quando há um dilema entre ganhos pessoais *versus* ganhos sociais; 7) na escolha entre diferentes alternativas científico-tecnológicas para um dado problema social. Transcrevemos, a seguir, citações que ilustram cada uma dessas categorias de respostas:

1) O teste de medicamentos e/ou cosméticos em animais é uma situação em que os cientistas devem questionar se é certo sacrificar essas vidas em prol da ciência (ANA PAULA – *Intervenção disciplina HFC*).

2) [...] quando utilizam seus conhecimentos para a guerra (como Fritz Haber) (VANDER – *Intervenção disciplina HFC*).

3) [...] fármacos que causam algum mal à sociedade, ou qualquer outra atividade que traga algum malefício à humanidade (RITA – *Intervenção disciplina HFC*).

4) Além disso, durante análise de pesquisas e trabalhos, em que o cientista que está analisando percebe que o trabalho é muito similar ao que ele vem pesquisando, e então pode ser influenciado pela postura humana de desmerecer tal trabalho, ou utilizar muitas informações contidas nele para benefício próprio etc (SONIA – *Intervenção disciplina HFC*).

5) Por exemplo, ao decidir se coloca o nome de alguém, como outro cientista, que lhe ajudou em um trabalho (pesquisa, artigo, etc.) (DAYANE – *Intervenção disciplina HFC*).

6) No caso de uma descoberta com possível uso prático que trará benefícios a uma população, a transformação disso em um bem material devido a venda do conteúdo e das ideias para alguma empresa pode se tornar um problema ético, pois devido a isso o cientista poderá tirar a oportunidade de algum cidadão (MANUELA – *Intervenção disciplina HFC*).

7) [...] fazer um medicamento que cure a doença ou um que alivie temporariamente os sintomas e sempre vender estes, de forma que continue alimentando a indústria (ANA PAULA – *Intervenção disciplina HFC*).

Respostas classificadas nas duas primeiras categorias ocorreram em maior número do que as demais na *intervenção disciplina HFC*. Contudo, na *intervenção piloto*, predominou a menção a problemas éticos no momento de comunicação dos resultados da pesquisa. As citações a seguir ilustram esse problema ético:

Temos os cientistas que trabalham na área da perícia e podem vir a falsificar resultados que comprometem a investigação. Existem casos onde um pesquisador não obtém resultados esperados e os altera em busca de um maior reconhecimento (VINÍCIUS – *Intervenção piloto*).

Caso de publicação de artigo, no quesito de não ser honesto nos resultados obtidos, omitir fonte dos resultados, pegar trabalho alheio e ganhar credibilidade por ele, sem ter feito uma contribuição significativa (VANESSA – *Intervenção piloto*).

Em linhas gerais, todas as situações citadas pelos estudantes envolvem um problema ético. Elas têm em comum o fato de estenderem para a Ciência a compreensão sobre ética geral dos estudantes, pois tais situações centralizam os problemas éticos nas condutas entre pessoas, seja entre cientistas ou na relação entre cientistas e sociedade. A única situação que se distingue disso é no caso dos testes de fármacos em animais, em que o dilema ético inclui algo diferente do ser humano.

A compreensão de problemas éticos na ciência restrita apenas à forma de conduta entre humanos pode representar um obstáculo para o desenvolvimento de uma compreensão mais ampla da ética na Ciência, ao desconsiderar a operação do cientista sobre a Natureza e os efeitos de seus produtos científico-tecnológicos sobre o ambiente natural como passível de originar problemas éticos.

Nesse sentido, se de um lado as situações citadas pelos estudantes podem compor um rol de temas para estruturar as aulas de ética na Ciência, por outro lado, excluir a Natureza pode restringir suas compreensões para uma ética entre humanos – que não contemplaria um modo de agir em relação ao ambiente. Ampliar a

concepção torna-se importante para compreender o que é a atividade científica, como ela funciona, e, principalmente, que a ciência implica em consequências para a Natureza. Assim, reconhecer e discutir a ética na Ciência deve problematizar a ética entre humanos com o intuito de ampliá-la em prol de uma ética em relação à Natureza.

A terceira pergunta do questionário “Concepções prévias...” indagou aos estudantes como a ética está presente na atividade dos químicos. Para a maior parte dos estudantes da *intervenção disciplina HFC*, a ética se manifesta no momento da aplicação ou uso da Química. As seguintes respostas exemplificam essa compreensão:

Não usar seu conhecimento para fins maléficis (AMANDA – *Intervenção disciplina HFC*).

Com o conhecimento em produtos e procedimentos químicos, pode-se criar bombas, venenos, corrosivos e é necessário a ética para que os químicos não utilizem desse conhecimento para realizar o mal para as pessoas (LÚCIO – *Intervenção disciplina HFC*).

A ética está presente na atividade dos químicos de diversas formas, que podem ser, segundo meu conhecimento, como: conjunto de condutas sobre o uso de produtos químicos, o descarte, sobre a produção do conhecimento e sobre a aplicação/utilidade de tal conhecimento estudado (LUIZA – *Intervenção disciplina HFC*).

[...] atitudes frente ao uso de compostos (usá-lo para fins maléficis ou benéficos) [...] (MURILO – *Intervenção disciplina HFC*).

[...] ou usar a química para a guerra [...] (VAGNER – *Intervenção disciplina HFC*).

Dentre essas respostas, notam-se argumentações que se referem especificamente às entidades químicas – em especial, as substâncias químicas, por meio da expressão “produtos químicos” – nas quais o modo como esses produtos são utilizados ou aplicados podem resultar em problemas éticos aos químicos. O reconhecimento das implicações éticas em torno das substâncias químicas, ainda que restritas unicamente aos seus possíveis usos, possibilita uma base mínima sobre a qual a ética química, tal como argumentado nesta tese, pode ser desenvolvida.

Além de menções a questões específicas da Química, os estudantes citam também situações gerais que consideram ser exemplos de ética na Química: na relação com outros químicos e com a sociedade; na avaliação ou reconhecimento de

outros colegas; e na escolha de suas pesquisas, no que diz respeito aos seus possíveis impactos sociais.

Na *intervenção piloto*, foram mencionadas as seguintes situações em que a ética estaria presente na Química: a aplicação ou uso de produtos químicos, e seus possíveis danos às pessoas e ao ambiente; a forma como são descartados os resíduos químicos; a fabricação ou plágio de resultados de pesquisa; o desvio de verbas na compra de equipamentos e materiais para o laboratório pelo químico; e a escolha de suas pesquisas, as quais podem resultar tanto em benefícios quanto em malefícios.

Para aprofundar as reflexões dos estudantes sobre a ética na Química, questionou-se se essa área da ciência apresenta problemas éticos particulares em relação às áreas de Biologia e Física. Na *intervenção piloto* e na *disciplina HFC*, as opiniões se dividiram. Os estudantes que acreditam que a Química não apresenta problemas éticos particulares argumentaram o seguinte:

Não. Acredito que tanto físicos, químicos e biólogos passem pelos mesmos problemas/questionamentos éticos uma vez que os três quando pesquisam estão englobados na área da ciência; mesma área, mesmas questões éticas (RITA – *Intervenção disciplina HFC*).

Não consigo especificar por não conhecer muito bem as outras áreas, porém acredito que não, pois todas as áreas podem estar interligadas de certa maneira (RICARDO – *Intervenção disciplina HFC*).

Não consegui pensar em nenhum caso específico para a área química, mas sim para a área científica no geral, ou seja, para mim os problemas éticos a serem enfrentados por todas as áreas internas à ciência terão similaridades, como nos exemplos citados na questão 2 (SONIA – *Intervenção disciplina HFC*).

Todas as respostas têm em comum a compreensão de que físicos, biólogos e químicos são, no final das contas, cientistas e, portanto, enfrentam os mesmos tipos de problemas éticos. De fato, como argumentado nesta tese, existem situações nas quais os problemas éticos enfrentados pelos cientistas podem ser vistos como essencialmente idênticos, em especial, no que se refere à ética entre humanos. Não só em nosso referencial, mas, também, nas próprias respostas dos estudantes em questões anteriores, pode-se identificar situações em que o problema ético subjacente não se limitaria a um único campo.

A predominância da compreensão de problemas éticos gerais, comuns às diferentes disciplinas científicas, pode servir de ponto de partida para reconhecê-los e entender por que eles podem ser reunidos nesse grupo geral. Essa abordagem contempla um ensino de ética na Ciência que considera uma compreensão inicial disseminada entre os estudantes, com o intuito de que eles próprios possam enunciar e, ao longo das aulas, em conjunto com o docente, discutir, refinar e ampliar essa compreensão. Nossas intervenções, por conta do tempo restrito, não foram planejadas para discutir os problemas éticos gerais em detalhes. Entretanto, os dados desta tese evidenciam a possibilidade de se abordar esses problemas de acordo com o que os estudantes conhecem.

Ainda que seja relevante e necessário o desenvolvimento de compreensões acerca da ética científica, sob nosso ponto de vista ele estará incompleto se não abranger também a discussão de problemas éticos próprios da atividade química. Considerando essa crítica, exibimos, a seguir, argumentos dos estudantes em favor da especificidade da ética química:

Sendo um âmbito mais restrito da ciência, isso pode sim acontecer, já que ele buscará teorias e perguntas diferentes das que são feitas por biólogos ou físicos, por exemplo (MANUELA – *Intervenção disciplina HFC*).

Sim, pois são outros conceitos, outros materiais de estudo, outras formas de se trabalhar, outras formas de conhecimento (FABIANA – *Intervenção piloto*).

Químicos, como pesquisadores, têm a habilidade de identificar composições de um jeito muito característico, diferente das outras ciências, logo têm a responsabilidade de dizer corretamente o que há em uma certa amostra de água de um rio, por exemplo, isto pode levar à descoberta de uma poluição até então desconhecida, que talvez possa prejudicar a corporação responsável por aquilo, fazendo com que esta muitas vezes tente “calar” o pesquisador (VINÍCIUS – *Intervenção piloto*).

Não sei distinguir as questões peculiares sem que faça uma generalização insustentável. Porém, acredito que os químicos possam sim enfrentar questões éticas peculiares porque a química é ‘mais palpável’ e por meio dela é possível alterar/melhorar/modificar muitas coisas que utilizamos cotidianamente (LUIZA – *Intervenção disciplina HFC*).

Nos trechos acima, a argumentação dos estudantes se fundamenta em seu entendimento epistemológico da Química – em especial, no reconhecimento de modos particulares de pensar e atuar na Química que resultariam em problemas éticos próprios. As duas primeiras passagens apontam, em termos gerais, para o que

resultaria em problemas éticos próprios: a primeira centra-se em diferentes problemas de pesquisa e nas teorias construídas e mobilizadas pela Química; e a segunda cita que os conhecimentos, conceitos, objetos de estudo e modos de realizar a pesquisa em Química são distintos. As duas últimas passagens exibem maior refinamento. Elas comunicam, ainda que indiretamente, que a atividade química opera sobre entidades materiais, em particular, *analisando* e *alterando* sua composição. Essa operação gera consequências em nosso mundo e confere responsabilidade aos químicos.

A discussão da ética química necessita de uma base epistemológica para refinar as compreensões dos estudantes que reconhecem a existência de problemas éticos particulares a essa disciplina. Complementarmente, posições que rejeitam previamente a tese de problemas éticos próprios da Química podem ser reavaliadas e submetidas à crítica e reflexão. As posições, tanto dos que concordam quanto dos que rejeitam a especificidade, podem ser reelaboradas e mais bem fundamentadas.

Por fim, os participantes das duas intervenções foram questionados a respeito da importância do ensino de ética na Ciência e na Química¹³⁷. Todos os participantes reconheceram a importância de tais discussões na formação dos químicos. As principais justificativas apontadas pelos estudantes para o ensino de ética química, em ordem decrescente de frequência, foram as seguintes: 1) privilegia a tomada de decisões em prol da sociedade; 2) evita a ocorrência de más condutas científicas e profissionais; e 3) orienta o bom uso e aplicação dos conhecimentos científico-tecnológicos na sociedade. Apresentamos a seguir duas citações de diferentes estudantes para cada uma das justificativas:

1a) Acredito que não só na química como também em outras áreas do conhecimento o estudo da ética colabora para o desenvolvimento de um pensamento crítico e do bem estar social, trazendo consequências positivas para o meio (TALITA – *Intervenção piloto*).

1b) [...] para visarmos ao bem da sociedade no âmbito químico, científico, deixando as questões não éticas para trás, de modo a traçar um melhor futuro para a sociedade (SONIA – *Intervenção disciplina HFC*).

2a) Sim, pois durante um curso é comum modificar um número para chegar a um resultado certo, isso é um erro ético que tende a se repetir na vida profissional. Desenvolver esses valores evita esses “pequenos desvios” (ANA PAULA – *Intervenção disciplina HFC*).

¹³⁷Na *intervenção piloto*, a questão faz referência à Ética na Ciência e à Ética na Química, enquanto que na disciplina de HFC questionamos unicamente em relação a esta última.

2b) No meu curso de química bacharelado não tem nenhuma disciplina específica sobre ética na ciência, o que deixa a desejar, pois é recorrente a quebra de ética entre os colegas de trabalho (VANESSA – *Intervenção piloto*).

3a) A química é uma área que “dá poder” de manipulação de uma série de coisas. Se não houver um limite ou um conjunto de valores que regem seu desenvolvimento, o ser humano pode fazer o uso indevido da química e deixar sequelas ambientais e sociais (LUIZA – *Intervenção disciplina HFC*).

3b) Parafrazeando o professor Ático Chassot, a ciência pode ser considerada como um golem, uma figura mitológica que desconhece a própria força, e por isso, pode-se ver em ocasiões de um uso construtivo ou destrutivo desta força (IGOR – *Intervenção piloto*).

Dentre as justificativas, somente uma resposta se fundamenta em uma epistemologia da Química. A aluna *Luiza* argumenta que o poder de manipular as substâncias e materiais proporcionado pela Química oferece o risco de ser empregado de maneira indevida e causar danos aos seres humanos e ao ambiente. Assim, podemos inferir que o ensino de ética na Química promoveria usos não danosos do conhecimento e tecnologias químicas para os humanos e o ambiente.

As demais respostas dos estudantes não têm como alvo específico a Química. Suas considerações se referem à ciência em termos amplos, ao destacar, por exemplo: a tomada de decisões em prol da sociedade, a formação de profissionais que não cometam atitudes antiéticas e o emprego crítico e reflexivo da ciência tendo em vista suas possíveis consequências. A partir do reconhecimento de considerações gerais amplamente presentes entre os estudantes, o ensino de ética química deve ser planejado e implementado visando discutir *como* os motivos enunciados em termos gerais – por exemplo, *privilegiar a tomada de decisões em prol da sociedade* – se relacionam com a disciplina de interesse.

Em síntese, as compreensões sistematizadas nesta seção reúnem um núcleo mínimo de ideias sobre a temática *ética química* que os estudantes possuíam antes das intervenções, sendo possível observar a recorrência de algumas ideias. Dentre as diferentes compreensões, consideramos as seguintes como as mais significativas, considerando o ensino de ética química delineado nesta tese: ênfase no reconhecimento de problemas éticos aplicáveis às diferentes disciplinas científicas; negligência de problemas éticos próprios da Química ou, no mínimo, ausência de articulação de questões éticas a partir e sobre a Química; e predominância de uma

ética entre humanos (entre cientistas e cientistas, e cientistas e sociedade) no âmbito da Ciência.

Essas compreensões podem ser pontos de partida para o ensino de ética química, seja para aprofundá-las (por exemplo, discutindo em maiores detalhes a ética científica predominante entre os estudantes), ou para apresentar contrapontos (por exemplo, discutindo a perspectiva de que a Química pode apresentar problemas éticos próprios). Reconhecer e considerar essas compreensões possibilita o diálogo entre o *ensinar Filosofia da Química* promovido pelo professor e o *filosofar sobre a Química* por parte do estudante. É partir de seus saberes que os estudantes podem dialogar com as ideias comunicadas pelo professor.

5.4.3. Análise da primeira aula: filosofia da química & ética química

A primeira aula da *intervenção piloto* teve aproximadamente 3 horas de duração, incluindo um intervalo de aproximadamente 20 minutos. A partir do mapa de episódios¹³⁸, as diferentes atividades que ocorreram em sala de aula e seus tempos de duração foram delimitados. Dentre os diferentes episódios mapeados¹³⁹, apontamos os referentes à discussão dos temas: ética (~ 7 min); ética profissional (~ 43 min); ética na Ciência (~ 15 min); e ética na Química (~ 24 min). Assim, o desenvolvimento e discussão de tais temas envolveram aproximadamente 1h30min de aula.

Por sua vez, a primeira aula da *intervenção disciplina HFC* teve aproximadamente 1h20min de duração, sem intervalos. Os episódios¹⁴⁰ que tratam dos temas de interesse e seus tempos de duração são os seguintes: ética (~ 6 min); ética profissional (~ 22 min); ética na Ciência (~ 6 min); e ética na Química (~ 22 min). Ou seja, o desenvolvimento e discussão desses temas somaram aproximadamente 1h de aula.

Diante da extensão e grau de detalhamento de cada episódio e, também, tendo em vista o objetivo principal desta tese, nossa análise se concentrou no episódio referente à ética na Química, o qual está presente nas duas intervenções. Quando

¹³⁸Optou-se por disponibilizar via *internet* a consulta dos mapas de episódios e de sequências discursivas, a fim de não aumentar em demasia a extensão desta tese.

¹³⁹O mapa de episódios da aula I da *intervenção piloto* pode ser consultado em: <https://goo.gl/dWNni7>. Disponível em: 17 de fev. de 2018.

¹⁴⁰O mapa de episódios da aula I da *intervenção disciplina HFC* pode ser consultado em: <https://goo.gl/j4wRQr>. Disponível em: 17 de fev. de 2018.

necessário, recorreremos a outros episódios da aula, para esclarecer ou complementar alguma consideração. Produziu-se, para o episódio, um mapa de sequências discursivas para cada uma das intervenções¹⁴¹.

Os momentos nos quais houve interação decorreram das questões previamente planejadas, enunciadas e dirigidas pelo pesquisador aos participantes da pesquisa. O objetivo das questões era incentivar a participação e diálogo com e entre os estudantes. Tal estratégia contemplou, em alguma medida, o *filosofar sobre a Química*. Ainda que a questão não seja genuinamente dos estudantes, na medida em que não foram eles que a elaboraram e a enunciaram, tomar contato com problemas filosóficos e buscar respostas para eles é o primeiro passo para o *filosofar sobre a Química*.

Por outro lado, os momentos sem interação, em sua totalidade, se caracterizam por representar o *ensinar a Filosofia da Química*, pois é este campo que fundamenta a fala do pesquisador – a qual atua complementando ou apresentando uma perspectiva diferente em relação às falas dos estudantes. O contato com as ideias do campo da Filosofia da Química pode promover o desenvolvimento do *filosofar sobre a Química*, por meio da apropriação de problemas, perspectivas, ideias e conceitos da Filosofia da Química. Ao longo da análise das intervenções, procuramos avaliar essa possível apropriação.

A análise das respostas resultou, ainda, no mapeamento das compreensões dos estudantes. Nas duas intervenções, a seguinte questão iniciou o episódio referente à ética química: *Os químicos podem enfrentar questões éticas próprias, diferentes das enfrentadas por outros cientistas (por exemplo, físicos e biólogos)?*

Na *intervenção piloto*, os estudantes tiveram, inicialmente, hesitação em responder à questão. Primeiro, comentando sua dificuldade e, depois, acreditando que podem existir questões éticas próprias, mas não sabendo explicar como elas ocorrem na Química. Diferentemente da intervenção na disciplina HFC, na *intervenção piloto* os estudantes preencheram o questionário “Concepções prévias...” no mesmo dia da aula, sem tempo para maiores reflexões. Provavelmente, a questão nunca foi cogitada pelos estudantes, o que pode ter resultado no estranhamento e dificuldade. Isso evidencia a necessidade do *ensinar a Filosofia da Química* para que

¹⁴¹O mapa de sequências discursivas da aula I da *intervenção piloto* pode ser consultado em: <https://goo.gl/XdyJ4N>. O mapa de sequências discursivas da aula I da *intervenção disciplina HFC* pode ser consultado em: <https://goo.gl/xENW5m>. Disponível em: 17 de fev. de 2018.

os estudantes tenham recursos para desenvolver o *filosofar sobre a Química*. Sem bases consistentes para argumentar, os estudantes se veem “sem palavras” para elaborar suas ideias, não sabendo se posicionar, ou adotando posicionamentos sem apontar uma justificativa para isso.

As respostas propostas à questão foram as seguintes: 1) a Química cria coisas nunca imaginadas, o que torna maior a responsabilidade dos químicos em relação aos especialistas de outras disciplinas científicas; 2) a forma de descarte dos produtos químicos resulta em problemas éticos próprios dos químicos, pois eles devem ter controle sobre tais produtos; 3) há problemas éticos comuns às diferentes disciplinas, mas o conhecimento específico de cada disciplina produz questões éticas específicas. A segunda resposta ocorreu mais de uma vez no questionário “Concepções prévias...”, enquanto as outras duas foram expressas apenas em sala de aula.

A primeira compreensão é exemplificada no fragmento a seguir, no qual a estudante reconhece problemas éticos próprios da Química recorrendo a ideias mais familiares à Biologia:

[...] como químico a gente tem responsabilidade muito maior que a de um físico e um biólogo porque a gente tá no meio dos dois, então a gente consegue se relacionar entre a bioquímica e a quântica. A gente consegue fazer, vai, pegar, criar uma vida, a expressar uma coisa que nunca ninguém imaginaria que fosse possível, então a gente tem que pensar muito nisso se a gente vai meio acabar numa reação epiléptica talvez mais parecido com o biólogo, sei lá uma bactéria totalmente inorgânica, uma coisa que não vai prejudicar a própria bactéria que tá sendo usada, se não foi prejudicar os outros, não vai prejudicar a si próprio [...] (BEATRIZ – *Intervenção piloto*).

A produção de algo novo e os riscos envolvidos estão presentes na fala acima; porém, o ente de interesse (bactéria artificial) está mais próximo da atividade do biólogo do que da atividade do químico, ainda que este colabore em projetos dessa natureza. Em sala de aula, essa compreensão não gerou maiores desdobramentos, mas poderia servir como substrato para refinar as ideias no contexto da síntese química e a produção de novas substâncias. Por exemplo, buscando identificar uma criação diferente da que foi mencionada e que seja mais familiar à Química. Essa compreensão pode, ainda, ser desenvolvida com o intuito de comparar disciplinas científicas: tanto a Biologia (ou a Engenharia Genética, mais precisamente) quanto a Química produzem entes novos, mas se distinguem pela natureza de tais entes, seus

possíveis usos ou aplicações e, principalmente, pelos riscos diferentes associados a cada um deles.

A terceira compreensão sobre a especificidade da ética química, por sua vez, é fundamentada na discussão sobre ética profissional realizada no início da aula, na qual se observou que diferentes profissões possuem conhecimentos, habilidades e julgamentos distintos. É pertinente ressaltar que as considerações sobre ética profissional realizadas em sala não tinham como alvo específico a Química. No questionário prévio, nenhum estudante elaborou essa ideia, sendo indício de uma apropriação de uma perspectiva comunicada em sala de aula. Essa apropriação permitiu o *filosofar sobre a Química* dos estudantes.

Na *intervenção disciplina HFC*, uma compreensão manifestada foi a de que o químico e o físico vivem situações diferentes: o primeiro pode se envolver na produção de um gás venenoso, enquanto o segundo na produção de uma bomba. As situações enfrentadas são diferentes para cada profissional, o que resulta em uma ética própria. Apesar de serem encarados como problemas éticos diferentes, o estudante enfatizou que as responsabilidades são iguais entre eles. A fala desse estudante sugere que os problemas éticos podem ser diferentes entre as disciplinas devido aos produtos de sua atividade serem distintos. Contudo, como problematizado pelo regente da disciplina em sala de aula, no que diz respeito à possível finalidade, ambos podem ser utilizados com vistas a causar danos, resultando em dilemas éticos idênticos. Talvez por esse motivo, o estudante tenha afirmado que as responsabilidades são iguais para os dois profissionais.

Outra resposta retomou considerações previamente feitas no questionário “Concepções prévias...”, de que os químicos podem enfrentar questões éticas próprias por conta de seu poder de manipular e transformar as coisas. Enquanto a resposta anterior enfatiza os produtos das diferentes atividades científicas, esta argumenta que os conhecimentos e habilidades voltados à manipulação e transformação das substâncias conferem um “poder” aos químicos, isto é, permitem que estes realizem algo que outros profissionais não conseguem. Isso resultaria em problemas éticos próprios aos químicos.

As demais falas dos estudantes decorrem da resposta anterior e tangenciam a questão que deu início a esta sequência discursiva. Em particular, os estudantes mencionaram os alimentos transgênicos: questionam se os cientistas envolvidos em seu desenvolvimento previram todos os possíveis impactos e consequências a longo

prazo, pois comumente as pessoas se preocupam com os efeitos de curto prazo. Por outro lado, também se argumentou que o longo tempo necessário para os testes de um novo fármaco podem impossibilitar seu lançamento no mercado, tornando-o inacessível à população.

Ainda que as respostas não dialoguem diretamente com a questão inicial, elas estão dialogando com o *manipular e mudar coisas* por meio do recurso a entes materiais, os transgênicos e os fármacos, para compreender as possíveis consequências do poder da Química. Ainda que os químicos possam lidar diretamente com transgênicos e fármacos, os estudantes não cogitam que substâncias com outras aplicações (ou mesmo sem aplicações) possam resultar em riscos e incertezas, ou que também sejam dignas de preocupação. O reconhecimento dos problemas éticos da Química por parte dos estudantes ocorreu, seja nos questionários ou em sala de aula, por meio de entidades que têm forte associação com as áreas de Biologia e saúde. Novamente, assim como na *intervenção piloto*, verificou-se o recurso a entes mais familiares a outros campos, ou compartilhado com eles. Como dito, é importante tomar a perspectiva comunicada pelos os estudantes com intuito de significá-la no contexto da síntese química.

Em ambas as intervenções, os questionários revelaram divisão entre concordar ou não com a existência de problemas éticos próprios da Química. Em sala de aula, porém, nenhuma voz se manifestou contrária à existência dessa especificidade. Assim, no que diz respeito à condução de tal discussão, não se promoveu o *pensamento divergente* (ou a *pluralidade de perspectivas*), no sentido de incentivar os estudantes a apresentarem posições contrárias. Promovê-las possibilitaria entender melhor as ideias dos estudantes sobre não existirem problemas éticos próprios na Química e, também, poderiam servir para comparar e discutir as bases epistemológicas entre os que concordam e os que discordam da especificidade. O tempo restrito para as aulas e, principalmente, o objetivo explícito de discutir problemas éticos próprios da Química não deve inibir ou ceifar a discussão de ideias e perspectivas divergentes, pois o que se pretende é o desenvolvimento do *filosofar sobre a Química* dos estudantes.

A segunda questão que proporcionou a participação e o diálogo entre os estudantes sofreu modificações após a *intervenção piloto*. As questões utilizadas nessa primeira intervenção foram: *O que os químicos estudam? O que eles fazem em seus laboratórios?* Na *intervenção disciplina HFC*, a primeira questão mudou para:

Qual a principal atividade dos químicos? A segunda questão foi mantida, e recebeu maior ênfase do pesquisador durante a intervenção.

Na *intervenção piloto*, a primeira questão recebeu a seguinte resposta “padrão”, semelhante ao que se encontra em livros didáticos de Química: *químicos estudam a matéria, suas transformações e propriedades*. A segunda questão também causou dificuldade aos estudantes. Eles propuseram respostas simples, como *químicos fazem experimentos*; e após receberem comentários do pesquisador sobre suas respostas, descreveram que os químicos *realizam experimentos que estudam as transformações química*. Uma compreensão citada de passagem foi a de que os químicos *quantificam*, sendo a quantificação associada à *análise*. Afirmou-se, também, que os químicos buscam descobrir coisas novas. A partir dessa afirmação, ocorreu a seguinte sequência discursiva em sala de aula:

Quadro 12 – Sequência discursiva: reconhecendo o que o químico descobre.

Intervenção piloto.

Turno	Transcrição da fala
Pesq. 1	O que o químico busca descobrir?
Alice	Por exemplo, na verdade ele não descobre nada. Ele só determina coisas que já existem, essa é a minha opinião.
Igor	Pode ser uma criação, uma coisa que não existe.
Pesq. 1	“Não existe” ((parafrazeia a fala de Igor)) Se você argumentar com ela, ela tá dizendo que tá tudo lá. Por que é novo? Por que é uma coisa que não existe na Natureza? O que você diria pra ela? Ela não concorda com isso, pra ela tá tudo lá.
Igor	((Fica em silêncio antes de responder)) Eu só consigo pensar nos extremos da tabela periódica. Por exemplo, elementos que a gente não conseguiu achar, só sintetizados, assim nos núcleos de estrelas pode ser que haja //
Pesq. 1	Você tá pensando nos elementos químicos?
Igor	Isso!
Pesq. 1	Mas os químicos têm interesse em um grau um pouco acima dos elementos, não que ele não possa estudar os elementos //
Igor	As moléculas?
Pesq. 1	As moléculas! Mas as moléculas estão ali no nível inatingível, a gente tem acesso direto pela instrumentação, mas assim manipulando no laboratório, o que o químico tá manipulando no laboratório? ((classe não responde))

A controvérsia sobre descobrir ou criar algo novo revela, dentre outras coisas, que o reconhecimento da *criação de coisas que não existem na Natureza* restringiu-se, nesse ponto, a um âmbito pouco comum à atividade química, a saber, a criação de novos elementos químicos. Elementos artificiais são produzidos por aceleradores de partículas e, ainda que possam envolver químicos em tais experimentos, os tempos

de meia-vida e as quantidades produzidas, por exemplo, impossibilitam a manipulação desses elementos tal como os químicos procedem com outras substâncias químicas. São eventos muito distantes do dia-a-dia do químico. Mais significativo, ainda, é que a maioria dos estudantes presentes relatou desenvolver pesquisas de iniciação científica, tais como transformar amido de milho em nanopartículas; ou produzir filmes com base polimérica com atividade antimicrobiana. Assim, eles estão lidando com substâncias químicas diretamente e, talvez, produzindo eles próprios novas substâncias químicas ou materiais.

Na *intervenção disciplina HFC*, o contexto inicialmente imaginado pelos estudantes concentrou-se na indústria química, em respostas como: *o que o químico faz depende do processo industrial; o químico realiza análises e controle de qualidade*. Ao discutir as respostas, procurou-se orientar os estudantes para o trabalho do químico-pesquisador e o que ele realiza ou produz na pesquisa científica/química. As seguintes compreensões foram comunicadas: *o químico expressa teorias; explica o mundo de outra forma; explica novos fenômenos; testa hipóteses; desenvolve métodos; identifica dados esperados; e determina coisas*. Após essas respostas, uma aluna citou que os químicos *realizam sínteses*.

A menção à indústria e às análises realizadas nesse contexto pelos químicos pode ser associada ao fato de que vários estudantes passaram pelo curso técnico em Química. Mesmo que eles não tenham atuado na indústria, a formação nesse curso provavelmente deu ênfase a conhecimentos e habilidades de análise. Além disso, a própria forma na qual a questão foi enunciada – demasiado ampla e sem localizar um contexto de atuação do químico – cria dificuldades para que os estudantes reflitam na direção pretendida. Contudo, mesmo com as reorientações ao longo da discussão, as compreensões compartilhadas comunicam *fazeres* aplicáveis a qualquer disciplina científica.

Em vista disso, é possível inferir um desconhecimento, por parte dos estudantes de Química, em relação à *síntese química* como uma das principais atividades dos químicos – pelo menos, dos químicos-pesquisadores. Essa faceta da Química é subestimada pelos químicos, sendo uma das razões para se promovê-la entre seus futuros profissionais. É papel da Filosofia da Química apresentar e discutir modos de pensar e interpretar a Química nunca concebidos ou poucos discutidos pelos próprios químicos.

A última questão proposta nessa aula foi a seguinte: *Como a síntese de novas substâncias resulta em problemas éticos aos químicos? Por conta do tempo, não houve oportunidade para os estudantes refletirem e responderem a essa questão na intervenção disciplina HFC.*

Na *intervenção piloto*, a síntese de novas substâncias foi associada aos seguintes problemas éticos pelos estudantes: 1) os *motivos que orientam ou justificam a síntese de uma nova substância*, exemplificados pelo *doping* esportivo, no qual as pesquisas podem ser realizadas para produzir substâncias que não estão nas listas de substâncias proibidas, com o intuito de beneficiar um grupo de atletas, sem que elas estejam “oficialmente” proibidas pelos comitês *antidoping*; e 2) a *avaliação das consequências que uma nova substância pode acarretar ao ser introduzida na Natureza*, exemplificada pelos fertilizantes, os quais trouxeram benefícios (produção em larga escala de alimentos) e malefícios. A seguir, apresentamos trechos das falas referentes às duas compreensões:

Até uma pesquisa pra aprimorar, por exemplo, a questão do doping. Então, é, muitas vezes a pessoa vai pesquisando de uma maneira pra burlar e chegar em determinadas substâncias que são proibidas. [...] a questão dos russos né que começaram a desenvolver novas técnicas para não ser pegos no comitê olímpico, isso é um problema ético. O cara sabe que não pode e além disso pesquisam para tentar burlar, para novas substâncias não serem detectadas (MARCOS – *Intervenção piloto*).

Eu acho que esses problemas éticos vai entrar bem no que ela falou ((aponta para Fabiana)) sobre o descarte e o material que nós utilizamos. Os problemas éticos quando a gente pensa nos NPK's ((sigla utilizada para fertilizantes contendo nitrogênio, fósforo e potássio)). Quando isso começou isso era ótimo, porque aumentou em larga escala a produção de alimentos. Por outro lado, tem a questão do descarte e das consequências que isso tem a longo prazo ou não, então, tipo assim, ao mesmo tempo que uma coisa pode ser muito boa, ela pode ser muito ruim a partir das consequências. Acho que entra bem com os problemas éticos ligados diretamente à nossa profissão (ALICE – *Intervenção piloto*).

Enquanto a primeira fala relata uma situação específica, a segunda descreve um problema ético generalizável a quaisquer substâncias químicas que possam ser introduzidas na Natureza. Esta fala reforça, ainda, os problemas éticos referentes à aplicação dos conhecimentos e tecnologias na sociedade e no ambiente, identificados nos questionários e comunicados em sala de aula. Essa é uma preocupação recorrente entre os estudantes. Porém, a discussão promovida em sala de aula estimulou a delimitação desse problema ético ao contexto da Química, por meio do

recurso a um material genuinamente químico. Isso ilustra o movimento de uma compreensão sobre a ética científica geral em direção à ética química, pelo refinamento e contextualização do problema para o âmbito da Química.

Em linhas gerais, a primeira aula de ética química, cujo foco residiu nas discussões da Filosofia da Química sem o delineamento de contextos para reflexão, apresentou dificuldades aos estudantes devido à forma pelas quais as questões foram enunciadas no decorrer da aula. Contudo, a interação contínua entre pesquisador e estudantes na discussão de cada questão permitiu orientar os estudantes gradualmente no sentido pretendido.

Os estudantes estão habituados a ver a atividade química como analítica, isto é, que empreende análises para determinar qualidades e quantidades das substâncias. Mesmo quando os estudantes reconhecem que a Química cria coisas novas, esse reconhecimento abrange entidades compartilhadas com outros campos, como, por exemplo, a Biologia. A síntese química não é imediatamente reconhecida como uma das principais atividades da Química. Em vista disso, torna-se importante promover reflexões dos estudantes a respeito da síntese química e das entidades dela resultantes. A Filosofia da Química pode municiar os educadores com questões, ideias e perspectivas em torno da síntese química e, desse modo, proporcionar situações para o *filosofar sobre a Química* pelos estudantes.

5.4.4. Análise da segunda aula: história da química & ética química

A segunda aula da *intervenção piloto* dividiu-se em duas partes: apresentação do caso histórico “Thomas Midgley, Jr. e a produção de novas substâncias no século XX”, com duração de aproximadamente 1h30min¹⁴²; e a aplicação e discussão do questionário sobre o caso histórico ([Apêndice 3](#)), com duração de 1h03min (~ 31min para o preenchimento do questionário, e 32 min de discussão)¹⁴³. Nessa aula, participaram e entregaram o questionário seis estudantes.

¹⁴²O mapa de episódios da primeira parte da aula II da *intervenção piloto* pode ser consultado em: <https://goo.gl/Vabipw>. Disponível em: 17 de fev. de 2018.

¹⁴³O mapa de episódios da segunda parte da aula II da *intervenção piloto* pode ser consultado em: <https://goo.gl/EEUmXV>. O mapa de sequências discursivas da discussão feita na segunda parte da aula II da *intervenção piloto* pode ser consultado em: <https://goo.gl/AGKp3e>. Disponível em: 17 de fev. de 2018.

Na *intervenção disciplina HFC*, a discussão das questões ([Apêndice 3](#)) com a classe se deu ao longo da apresentação do caso. A narrativa histórica era interrompida nos momentos relacionados diretamente à questão. Após sua discussão, a narrativa prosseguia até atingir o momento da questão seguinte. Os assuntos abordados na narrativa histórica foram os mesmos da *intervenção piloto*, exceto por sua duração, em função do tempo reduzido. O tempo total de aula compreendeu 1h22min¹⁴⁴. O número total de questionários entregues sobre o caso foi de 16, sendo que, diferentemente da *intervenção piloto*, os alunos da disciplina HFC deveriam ter previamente respondido às questões em casa. Na discussão a seguir, consideraremos apenas os dados produzidos nas interações em sala de aula.

A primeira questão proposta sobre o caso histórico foi: *O médico Robert Kehoe era pesquisador na Universidade de Cincinnati, localizada no mesmo Estado (Ohio, EUA) que a sede da Ethyl Corporation, e que recebia financiamento dessa empresa para diversos projetos. Você acha que o fato de Kehoe ser contratado pela Ethyl Corporation pode ter influenciado a opinião dele sobre os riscos oferecidos pelo tetraetilchumbo? Comente.*

A partir dessa questão, identificou-se uma primeira dificuldade associada à especificidade da abordagem. A qualidade da argumentação dos estudantes a respeito do problema ético promovido pelo caso histórico é influenciada pelo grau de apreensão e entendimento da narrativa histórica por parte do estudante. O caso histórico se caracteriza pela profundidade, sendo repleto de eventos, ideias e informações. Além disso, deve ser interpretado de acordo com o contexto da época para evitar ou, pelo menos, minimizar eventuais anacronismos. Esses fatores desempenham papel importante na apreensão e entendimento dos estudantes sobre o caso, o que, por sua vez, influenciará na análise e posicionamento frente ao problema ético debatido.

Por exemplo, na discussão da primeira questão na *intervenção piloto*, um aluno argumentou que não há dúvidas a respeito de influências no parecer do médico. Segundo ele, o envenenamento e a morte de trabalhadores nos primeiros meses de produção em larga escala do tetraetilchumbo seriam suficientes para sustentar que o médico divulgou um parecer enviesado em favor da empresa. Na narrativa história

¹⁴⁴O mapa de episódios da aula II da *intervenção disciplina HFC* pode ser consultado em: <https://goo.gl/HbHmMj>. O mapa de sequências discursivas da discussão feita nessa aula pode ser consultado em: <https://goo.gl/LTY2WW>. Disponível em: 17 de fev. de 2018.

compartilhada com os estudantes, descreveu-se que a indústria alegou problemas nos protocolos de segurança iniciais, que foram aperfeiçoados e os envenenamentos cessaram. O próprio Midgley se afastou das atividades profissionais durante alguns meses por problemas de saúde, possivelmente pela exposição prolongada ao tetraetilchumbo. Os perigos relacionados ao uso de compostos de chumbo eram bem conhecidos pelos profissionais da saúde da época. Esses problemas eram conhecidos por Midgley, que argumentou que o chumbo seria utilizado em pequenas quantidades na gasolina, as quais seriam, posteriormente, diluídas no ar a ponto de não ser possível quantificá-las e de não causarem dano.

Na ocasião da emissão do parecer, o governo dos EUA encarregou a própria indústria que produzia o tetraetilchumbo (a *Ethyl Corporation*) para contratar (e pagar) um grupo de pesquisa para investigar seus efeitos em seres humanos. O grupo contratado trabalhava em uma universidade que recebia financiamentos da *Ethyl Corporation*. No parecer produzido, o líder da pesquisa, o médico Robert Kehoe, comunicou que seus estudos não encontraram evidências de acumulação significativa de chumbo no corpo humano. A sutileza está em não dizer que haverá, nem dizer que não haverá acumulação de chumbo em seres humanos, mas na incerteza ou dúvida: não existem dados que possam apoiar nem uma, nem outra conclusão. Esses aspectos foram abordados em sala de aula, em especial, as circunstâncias em torno da emissão do parecer da equipe liderada por Kehoe.

Problemas no entendimento de pontos relevantes do caso também ocorreram em outros momentos, tanto na *intervenção piloto* quanto na disciplina HFC. Os estudantes solicitaram, por exemplo, esclarecimentos sobre os conhecimentos disponíveis na época em relação à toxicidade do chumbo, e em relação à existência de estudos sobre o acúmulo de chumbo nas pessoas e no ambiente. Os dois aspectos são centrais para avaliar as consequências do chumbo, e foram abordados ao longo da narrativa. As situações observadas em sala de aula revelam dificuldades próprias aos estudos de caso históricos.

A riqueza de detalhes envolvidos no caso propiciou uma diversidade de pontos de argumentação aos estudantes, que estavam aptos a selecionar os aspectos que julgaram mais importantes para avaliar o problema ético subjacente. Porém, havendo dificuldades de apreensão e entendimento dos diferentes eventos do caso histórico, aspectos centrais relacionados à análise do problema ético podem ser

desconsiderados, resultando em análises e posicionamentos simplistas em torno da questão ética.

Tendo em vista esses problemas, as seguintes sugestões podem minimizá-los: i) leitura prévia do caso histórico antes da aula por parte dos estudantes; ii) planejamento e condução da narrativa histórica pelo professor, priorizando os aspectos centrais para a análise do problema ético subjacente; e iii) promoção de interações entre o professor e os estudantes para esclarecer aspectos sobre o caso ao longo da aula. Na *intervenção piloto*, o formato de aulas condensadas e sem intervalo impossibilitou a implementação da primeira sugestão. Porém, como a *intervenção disciplina HFC* revelou, essa estratégia não impede que surjam problemas de entendimento, pois a sugestão de leitura prévia não garante que a atividade seja realizada e, mesmo que seja, a profundidade do caso (artigo com 15 páginas de narrativa) pode acarretar em dificuldades de entendimento.

Se de um lado essas dificuldades podem ser obstáculos ao ensino de ética química, por outro, são oportunidades para promover compreensões mais elaboradas sobre o caso histórico e, principalmente, sobre a complexidade dos problemas éticos. As falas dos estudantes devem ser discutidas pelo professor com o intuito de evidenciar seus limites e esclarecer ou incluir aspectos que sugerem maior complexidade do caso histórico e do problema ético.

No que diz respeito às compreensões manifestadas pelos estudantes em relação ao parecer que permitiu a liberação do uso do tetraetilchumbo, em ambas as intervenções parece não ter havido dúvidas sobre a influência de outros interesses no caso e, ainda, que a emissão do parecer se configurou como um ato premeditado por parte do médico. Os estudantes argumentaram que: *o médico pode ter sido “subornado” para emitir um parecer favorável à empresa; e um parecer desfavorável à empresa poderia inviabilizar o financiamento do médico e da universidade.*

A posição dos estudantes sugere uma análise simples e direta em relação ao problema ético, em que o viés no parecer do médico é encarado como evidente, e que teria havido uma ação de má-fé desse profissional. Esse ponto de vista pode ser resultante do distanciamento histórico dos eventos relatados, e do conhecimento que temos atualmente sobre eles. O pensamento anacrônico conduz os estudantes a avaliarem o problema ético em termos simples e diretos. Na *intervenção disciplina HFC*, essa postura em relação ao passado foi problematizada com os estudantes da seguinte forma:

Quadro 13 – Sequência discursiva: problematizando o interesse a partir de uma situação contemporânea. *Intervenção disciplina HFC.*

Turno	Transcrição da fala
Regente	Eu ia propor uma modificação da pergunta. É, vocês conseguem responder a essa pergunta sem, se retirando do nosso ponto de vista que nós estamos a sei lá 80, quase 100 anos avançados da história? A gente sabe que esse negócio foi perigoso, causou problemas, foi proibido. Vocês conseguiriam responder isso retirando esse conhecimento de todas as consequências da situação?
Rita	Acho que sim.
Regente	E aí por exemplo, lançaram um medicamento novo no mercado, aí aparece um médico na televisão falando “oh isso é bom, é legal”. Você hoje quando vê um médico da televisão anunciando algo novo, você se pergunta pra quem ele trabalha? Quem paga o salário dele?
[Classe]	Não ((boa parte dos estudantes diz não))
Rita	Se ele defende uma coisa que todo mundo tá falando que faz mal, primeiro que eu penso “ele trabalha pra empresa”.
Regente	Você se pergunta isso?
Pamela	Mas não é comum né as pessoas pensarem assim né infelizmente.

Em linhas gerais, alguns estudantes apontam que é possível analisar o caso histórico desconsiderando tudo o que conhecemos hoje sobre o tetraetilchumbo, em especial, todas as consequências negativas de seu uso. No entanto, a confiança dos estudantes em relação aos interesses não científicos e, em particular, à má-fé no parecer do médico, parece sugerir o contrário. A posição categórica e, talvez, quase determinista, segundo a qual o médico só poderia ter agido daquela maneira, é indício da influência do ponto de vista atual.

Ainda que a posição dos estudantes seja legítima e amparada nas informações históricas disponíveis, qualquer posição defendida pelos estudantes em relação a um dado problema ético deve ser acompanhada de contraexemplos e possibilidades diferentes em relação à comunicada por eles. O intuito é o desenvolvimento do *raciocínio ético*. Nesse sentido, uma possível estratégia é abalar a suposta obviedade na interpretação do parecer do médico. Na ocasião descrita no quadro anterior, a provocação feita pelo regente fundamentou-se em uma analogia inspirada por uma situação familiar aos estudantes. Em ambos os casos, temos um médico a serviço de alguém, vivendo, contudo, em épocas diferentes. O que vive na contemporaneidade passa despercebido em relação a seus possíveis interesses ao divulgar um dado produto. Por outro lado, o que viveu no passado só poderia ter agido de má-fé. Não se nega que as informações históricas disponíveis em relação ao último contam contra ele, enquanto pouco sabemos do primeiro – sabemos apenas que ele divulga um

produto. Apesar disso, a analogia é válida na medida em que põe em xeque a análise simples e direta sobre o médico, comunicada preliminarmente pelos estudantes.

Não se pretende, com essa estratégia, minimizar a necessidade da interpretação diacrônica do passado – que é de difícil realização, sobretudo por estudantes não habituados com tal perspectiva. Logo, faz-se necessário o constante esclarecimento sobre os conhecimentos da época considerada, mas o recurso a situações do presente também pode ser pertinente, como exemplificado pela sequência acima referida.

A provocação em torno da suposta obviedade de uma situação deve ser acompanhada pela análise de diferentes possibilidades, além daquelas inicialmente pensadas pelos estudantes. Nas duas intervenções, buscou-se identificar como o médico poderia chegar ao parecer em questão agindo de boa-fé. Em ambas as ocasiões, duas compreensões foram compartilhadas pelos estudantes: os resultados obtidos seriam consequência dos métodos e instrumentos de análise utilizados; e alguém com influência direta na pesquisa poderia ter alterado ou omitido elementos da análise para levar o médico a confiar nos resultados obtidos. No trecho a seguir, um aluno reconhece que havia cogitado apenas a possibilidade do médico ter agido por má-fé:

Eu acho que a questão é que a gente já descreve que a pessoa age de má-fé na verdade. Pode ser que essa foi a outra questão, mas pode ser que realmente os métodos analíticos dele não fossem suficientes para prever os danos causados pelos CFC's na atmosfera, talvez não existissem equipamentos potentes suficientes para chegar nesse tipo de conclusão. Mas ainda assim eu tenho a tendência a achar que ele pode ter agido de má-fé ou por benefício ou por um certo receio de receber represália por ser empregado da empresa enfim (IGOR – *Intervenção piloto*, grifo nosso).

Na fala acima, o estudante, após considerar uma possibilidade diferente, ressalva que ainda estava inclinado a crer em má-fé do médico. Assim, o exercício de refletir sobre outras possibilidades não implica na necessidade de concordar com elas. O que se pretende é ampliar o entendimento, considerar e analisar cenários diferentes. É por meio do movimento que parte do simples, direto e óbvio, rumo ao plural e complexo, que se desenvolve o *filosofar sobre a Química*.

A posição dos estudantes sobre a má-fé do médico também deve ser acompanhada da análise dos motivos, razões e circunstâncias que a torna plausível, em especial, o que estaria em jogo para o médico alterar intencionalmente seu

parecer. Por exemplo, na *intervenção piloto*, questionou-se quais seriam as consequências caso o médico encontrasse e divulgasse resultados desfavoráveis para a empresa. Isso exige a análise dos vários fatores em jogo, e os efeitos da decisão tomada pelo médico para todos os envolvidos direta e indiretamente. A sequência discursiva transcrita a seguir aborda esse ponto.

Quadro 14 – Sequência discursiva: consequências de se divulgar resultados desfavoráveis à empresa. *Intervenção piloto*.

Turno	Transcrição da fala
Pesq. 1	Isso que você colocou, se caso ele tivesse chegado em resultados que de alguma forma prejudicariam a empresa, que tipo de situação você acha que ele poderia sofrer se ele apresentasse esses resultados tanto para a empresa //
Marcos	Isso que eu tô falando, tem que ver a relação como foi posto isso né, de repente a empresa pode já chegar na conclusão de praticamente forçar, “é, não faz mal ou vamos provar que não faz mal” claro que isso influencia né ou senão a empresa pode chegar com toda a autonomia pondo na dúvida se faz mal ou não faz mal, quer dizer, é difícil saber.
Pesq. 2	É vamos pensar nas consequências, se o resultado da pesquisa diz assim, bom nós reunimos evidências que vai haver prejuízos para a saúde, as pessoas vão ter problemas a médio e longo prazo, problemas neurológicos e tal. Recomendamos que isso aí não seja adicionado na gasolina. O que acontece? O negócio da Ethyl Corporation era produzir tetraetilchumbo, se um resultado como esse chega no ministério da saúde ou o equivalente ao ministério da saúde aí o governo diz não pode produzir isso daqui, para de vender esse negócio. A Ethyl Corporation vai fechar certo, se a Ethyl Corporation fecha o dinheiro que vinha do financiamento não vai vir mais para a universidade, tá certo? Bom isso pode não ser imediato, mas de qualquer maneira a Ethyl vai ter que contratar advogados para protelar dizendo que mais estudos são necessários, que não pode fechar de uma hora pra outra, vão financiar outra pesquisa e tal, de qualquer forma vai ter que gastar dinheiro com isso e o negócio vai estar sob risco, os investidores vão pensar, opa os acionistas vão dizer “esse negócio aí pode não ir muito longe, eu não vou investir mais nessa empresa vou investir em outra”, nisso a Ethyl Corporation vai perder dinheiro para investir na universidade, então essa é uma consequência e é claro que todo mundo que tá envolvido sabe disso, inclusive o Kehoe ((o médico que emitiu o parecer)).

O esclarecimento no final dessa sequência discursiva comunica que um resultado desfavorável poderia resultar na retirada do antidetonante da gasolina, com possível fechamento da indústria e interrupção do financiamento da universidade. A pressão sobre o médico e sua equipe poderia vir não só da empresa interessada, mas da própria universidade e de seus colegas. O médico se encontrava em um dilema ético, pois suas pesquisas poderiam ser interrompidas ou sensivelmente afetadas caso divulgasse resultados desfavoráveis à empresa, que seriam favoráveis, porém, à saúde e bem-estar da população. A cadeia de agentes envolvidos direta e

indiretamente, bem como as consequências de suas ações, são difíceis de se vislumbrar na totalidade, porém devem ser abordadas para o entendimento da complexidade dos problemas éticos e das decisões decorrentes.

A segunda questão do questionário é: *A Ethyl Corporation tinha interesse na comercialização do tetraetilchumbo, e realizou estudos científicos que apontavam para a segurança no uso dessa substância. Em sua opinião, deve haver algum tipo de regulamentação para a fabricação e a venda de inovações produzidas pela indústria química? Se não, por quê? Se sim, como poderia ser essa regulamentação? Explique.*

Nas duas intervenções, os estudantes foram unânimes quanto à necessidade de regulamentação da produção de novas substâncias químicas. Diferentes justificativas, complementares entre si, foram apontadas. Na *intervenção piloto*, discutiu-se que o *interesse no lucro e a negligência das consequências ambientais de médio e longo prazo inviabiliza a regulação por parte das próprias empresas produtoras da inovação*. Na *intervenção disciplina HFC*, argumentou-se que a regulamentação é necessária *por motivo de segurança, para evitar possíveis imprevistos*. O trecho transcrito a seguir representa a primeira compreensão:

Assim, a indústria a partir do momento que ela tem interesse em vender, se existe uma empresa, ela visa lucro e se ela chega num produto que dá lucro, ela quer continuar vendendo. Então se não tem regulamentação, nem nada, provavelmente, partindo do pressuposto que eles querem o lucro e quem tá chefiando uma empresa já tem uma certa idade, então se eles estão se importando tanto assim com o lucro, ((inaudível)) aí se os problemas podem vir a longo prazo e eles não vão pegar esses problemas, eles não vão se importar se isso vai dar algum dano ambiental ou se vai dar algum problema daqui a 30 40 anos (BEATRIZ – *Intervenção piloto*).

A respeito de como realizar a regulamentação, a seguinte compreensão ocorreu nas duas intervenções: *um órgão público/governamental, ou sem fins lucrativos, deveria se responsabilizar*. Na *intervenção disciplina HFC*, uma aluna disse que poderia ser *a própria empresa que produziu a substância*, afirmação que foi imediatamente rejeitada pelos demais estudantes. O posicionamento da classe frente à resposta da aluna revela o reconhecimento dos possíveis problemas envolvidos em atribuir o estudo dos impactos de uma nova substância química ao principal interessado em sua liberação.

Por conta das muitas vezes sugerindo uma agência do governo para regular a produção e a venda de inovações, é importante problematizar essa proposta, pois os estudantes podem encará-la como condição necessária e suficiente para resolver os problemas éticos quando estão em jogo os interesses públicos e privados. Na disciplina HFC, por exemplo, mobilizou-se a seguinte questão: *E se por um acaso o governo que abriga esse órgão público recebeu financiamento dessa empresa para sua campanha eleitoral. Será que também isso, de algum modo, vai influenciar?* Na ocasião, os estudantes concordaram que haveria influência na regulação.

Ao longo da discussão, na *intervenção disciplina HFC*, sobre os interesses envolvidos na liberação do uso do tetraetilchumbo, alguns estudantes manifestaram dúvidas sobre a existência de iniciativas oficiais de regulação da produção e venda de novas substâncias químicas pela indústria. A passagem abaixo ilustra esse ponto:

Eu vou até pedir para os professores se eles souberem. Por exemplo, você tem pesquisas aí que fazem síntese inovadora de compostos orgânicos e eu acho que não tem regulamentação para a pesquisa, depois para você ampliar, para você lançar, mas até então o produto já foi feito e o impacto que ele vai trazer na Natureza, como ele vai ser descartado, deveria ter alguma uma coisa antes (PAMELA – *Intervenção disciplina HFC*).

Nesse momento, o pesquisador não contribuiu para o esclarecimento das dúvidas, pois desconhecia aspectos regulatórios e jurídicos em torno da produção e introdução de inovações tecnológicas. Esse é um tópico passível de ser incorporado nas discussões sobre a ética química, com o objetivo de se conhecer em detalhes se, e como, ocorre a regulação da produção e introdução de novas substâncias químicas no mercado. Certamente, há muitos aspectos técnicos em jogo, que talvez estejam além do que se pretende alcançar no contexto das discussões histórico-filosóficas da ética química em sala de aula. Contudo, uma visão mínima e panorâmica sobre os aspectos regulatórios pode contribuir para esclarecer dúvidas gerais a esse respeito.

A terceira e última questão sobre o estudo de caso histórico é a seguinte: *No momento em que Midgley e Henne concluíram que os CFCs seriam ótimos fluidos para a indústria de refrigeração, eles não tinham como saber que esses compostos representavam riscos para a camada de ozônio. Você acha que eles foram imprudentes? É possível prever todos os riscos oferecidos pelas novas substâncias sintetizadas pelos químicos, e que têm aplicações práticas? Como lidar*

simultaneamente com inovações tecnológicas representadas por novas substâncias, e com a precaução necessária para não expor as pessoas e o ambiente ao risco?

Na *intervenção disciplina HFC*, os estudantes apontaram que não houve imprudência por parte dos pesquisadores, pois estes realizaram todos os testes disponíveis e imaginados na época para avaliar os efeitos dos CFCs. Opiniões nesse sentido foram manifestadas em diferentes momentos pelos estudantes, e podem ser exemplificadas pela citação a seguir:

Eu acho que não, porque não tem como imaginar que vai dar um problema na camada de ozônio. E ele fez nos parâmetros que ele viu né, se era prejudicial ao ser humano, e se era inflamável, que era o problema da época. Acho que não tinha como imaginar que alguma coisa afeta a camada de ozônio, não tem como imaginar (ELISA – *Intervenção disciplina HFC*).

Na *intervenção piloto*, a discussão enfatizou o fato de que *não há como saber ou prever tudo*. Entretanto, notou-se uma confiança pronunciada dos estudantes em relação ao estado atual do conhecimento químico, ainda que tenham reconhecido a impossibilidade de “saber” ou “prever” todas as consequências de uma nova substância:

Quadro 15 – Sequência discursiva: confiança no conhecimento químico atual.

Intervenção piloto.

Turno	Transcrição da fala
Marcos	Toda não tem como, mas pelo menos tem estudos que você pode ter mais pesquisas e tecnologias, que você pode ter para avançar bem mais nas pesquisas antes de lançar no mercado //
Pesq. 2	Você acha que nós estamos completamente seguros, de que não vai haver nenhuma surpresa?
Marcos	Seguros não, só acho que todas não pode generalizar né, como na história, generalizou, errou. Mas diferentemente do caso deles, a gente vê as pesquisas na época da camada de ozônio e tal, hoje as pesquisas podem ser bem mais rigorosas podem ter muito mais cuidado. É claro você tá falando de uma nova substância vai requerer novas pesquisas.
Carlos	Antigamente o trabalho era muito braçal mesmo, fazer o experimento aqui, muda ali e vê o que rola. Hoje não, a gente faz o experimento, vai no computador lá, vê as propriedades, tem como a gente prever o que vai dar certo, o que não vai dar, a gente conhece sobre a reatividade, já tá tudo à nossa disposição, antigamente não, trabalho braçal mesmo, era ir pro laboratório e ver no que dá.
Pesq. 2	Então você acha que tudo está sob nosso controle?
Igor	((alguns alunos dizem não)) Mas com uma boa chance, de uma boa probabilidade de certeza a gente consegue alcançar, é o que de certa forma a gente tenta buscar, por exemplo, prever o antes e o depois de uma reação, a massa inicial e a massa final com perda de rendimento no meio do caminho. Isso a gente consegue prever de certa forma o esperado.

Pesq. 2	Eu vejo que vocês têm muita confiança no conhecimento atual né ((alguns alunos riem)) vocês acham que a gente já sabe quase tudo o que a gente tem que saber?
Carlos	Não!
Beatriz	Que bom que não, senão a gente não tem emprego.
Carlos	Senão, não tinha pesquisas.

As seguintes ideias foram manifestadas pelos estudantes: *hoje as pesquisas são mais rigorosas e cuidadosas; e a modelagem por meio da computação, não disponível na época do caso histórico, permite prever a reatividade das substâncias*. Em diferentes momentos, o pesquisador provocou os estudantes com as seguintes indagações: *Estamos completamente seguros? Tudo está sob controle? Já sabemos tudo o que precisamos saber?* Ainda que respondessem “não” a essas perguntas, os estudantes expressaram muita confiança no conhecimento químico atual.

A confiança no conhecimento químico atual pode ser um obstáculo para os estudantes considerarem os riscos de nosso *desconhecimento* em torno de novas substâncias químicas. A partir da questão provocada pelas discussões da Filosofia da Química: “Será que o problema não está naquilo que não sabemos?”, uma aluna apresentou a seguinte reflexão: *pensamos que sabemos de tudo, todos os testes foram feitos, mas acabamos descobrindo que não, pois algo imprevisto acontece*. Suscitar pontos de vistas diferentes é papel do *ensinar a Filosofia da Química*. Isso amplia as indagações dos estudantes sobre a Química e permite seu filosofar.

Um aluno acrescentou, após a sequência discursiva exibida no quadro anterior, que *hoje existem mais testes do que no passado para os medicamentos*, para justificar a confiança no conhecimento atual. Mais uma vez, os estudantes recorrem a um ente (medicamento) em cuja produção o químico pode estar envolvido, mas que envolve também diferentes especialistas, desde sua síntese até todos os testes necessários para o uso em seres humanos. A quantidade e diversidade de substâncias químicas produzidas para os mais diferentes propósitos não são consideradas pelos estudantes. Isso torna-se mais significativo tendo em vista que o caso histórico aborda duas substâncias sem aplicações médicas, cujos impactos foram sobre ambientes locais, no caso do tetraetilchumbo, e global, no caso dos CFCs.

As provocações feitas na *intervenção piloto* sobre o nosso desconhecimento conduziram os estudantes a apresentarem alternativas sobre como lidar com a produção e venda de inovações: *a falta de conhecimento pode ser minimizada pela introdução gradativa da substância no mercado, acompanhando-se seus os efeitos;*

ainda que os riscos não possam ser eliminados totalmente, eles podem ser reduzidos; e é muito difícil atingir unanimidade sobre os benefícios e malefícios de uma substância e, por isso, a decisão sobre sua liberação ou não deve envolver a opinião de diferentes grupos de interesses. Nessa última proposição, o estudante sugeriu que a decisão não deveria se restringir a um único grupo de interesse, fazendo referência a disputas pela liberação de produtos no âmbito judiciário:

A divergência de opiniões se faz mal ou se não faz, sempre entra essa questão na hora de lançar uma substância nova, porque nem sempre há unanimidade se faz mal ou faz bem, sempre tem essa discussão, até no Congresso [Nacional] às vezes tem discussões. É o caso do amianto que tá no poder judiciário para dizer se continua a fabricação do amianto sabendo que os trabalhadores vão ser prejudicados, mas o poder judiciário decidir é complicado (MARCOS – *Intervenção piloto*).

A avaliação das alternativas dos estudantes é importante para que eles conheçam os limites de suas propostas. Por exemplo, a introdução gradativa das inovações foi avaliada pelo pesquisador, que ponderou que tal estratégia, se tivesse sido aplicada aos CFCs, não teria evitado a destruição da camada de ozônio – pois os efeitos só puderam ser observados anos (décadas) depois do lançamento dos CFCs, quando esses gases alcançaram a estratosfera.

Na disciplina HFC, a questão sobre como lidar com a produção e a introdução de inovações também destacou a importância da realização de testes com as novas substâncias. Os estudantes argumentaram sobre a necessidade de *testes mínimos antes do lançamento de um produto e, simultaneamente, testes e acompanhamento de seus efeitos nos âmbitos em que está presente*. Na sequência discursiva a seguir é possível observar uma menção a essa estratégia:

Quadro 16 – Sequência discursiva: testes para lidar com a introdução de inovações.

Intervenção disciplina HFC.

Turno	Transcrição da fala
Murilo	Testes constantes.
Rita	Se você ficar testando.
Regente	Testar numa amostra controlada?
Murilo	Sim, mas testar também, cria um composto que vai ter uma aplicação em determinado ponto da indústria e você vai ver, faz testes acerca daquilo, se acontecer um acidente, aonde aquele composto vai entrar em contato e aí vai testando testando testando.
Pesq. 1	Mas isso antes de comercializar?
Murilo	Não, então, esse que é o problema, porque se for fazer isso antes de comercializar não vende nunca.
Rita	Você pode ter testes básicos.
Murilo	É, então, faz testes mínimos.
Rita	Você faz os testes básicos de toxicidade, inflamabilidade, que seja risco ao meio ambiente, faz os testes básicos e continua dando acompanhamento.
Pesq. 1	Depois que o produto começa a ser vendido?
Rita	Depois! Fez esses testes e não deu nada vai lá vende e depois da venda você ainda assim, mantém o acompanhamento.
Murilo	Aí você mantém os testes, tenta em outros ((inaudível)), em outras condições, tenta pensar no máximo de possibilidades possíveis que aquilo pode acontecer.

A posição dos estudantes sobre realizar testes e acompanhamento contínuo a respeito dos efeitos de novas substâncias foi reforçada pela fala do estudante de biologia a respeito dos impactos dos anticoncepcionais:

Os dois pontos importantes das duas conversas, acho que você só tem que acompanhar o ciclo daquele produto, você vai ter que precisar vender ele de qualquer jeito. Mas, por exemplo, quando inventaram a pílula anticoncepcional aí vai usar e testou em humanos deu certo, não faz mal aqui, faz mal ali, e beleza. Só que daí a mulher vai descartar até certo ponto, vai pro mar, daí ela altera o ciclo do peixe e a fêmea não se reproduz. A gente só descobriu há pouco tempo, então não pensavam aonde iam descartar isso e o que que ia acontecer. E como tira a molécula da água? Se pra química é difícil imagine para o biólogo (LUCIANO – *Intervenção disciplina HFC*).

As consequências do tetraetilchumbo e dos CFCs comunicados pela narrativa histórica parecem ter convencido os estudantes a respeito dos riscos e incertezas inerentes às novas substâncias químicas. Isso pode ser observado pela preocupação manifestada pelos estudantes, e pela defesa da realização de testes contínuos como um meio para evitar ou minimizar possíveis danos desconhecidos. Ainda que outras variáveis estejam em jogo na análise dos riscos, casos históricos como o utilizado nessa aula são importantes para sensibilizar os estudantes e provocar uma mudança

de postura sobre como lidar com a produção e introdução de inovações por parte dos químicos.

O critério da *finalidade da substância* também foi apresentado pelos estudantes. Esse critério é exemplificado pela situação na qual a liberação de uma substância se justifica para evitar ou minimizar danos provocados por outra. A argumentação foi apresentada por uma estudante na seguinte sequência discursiva:

Quadro 17 – Sequência discursiva: avaliação da finalidade para lidar com inovações.

Intervenção disciplina HFC.

Turno	Transcrição da fala
Luiza	Acho que uma forma interessante, seria investigar a urgência do fim, por exemplo, o tetraetilchumbo foi produzido num contexto em que a empresa ((inaudível)) era uma competição para o lucro, enfim, já os CFCs surgiram de uma necessidade de os refrigeradores podiam explodir, podiam contaminar os alimentos, então por exemplo atualmente essas inovações, claro que os refrigeradores também têm a parte comercial //
Regente	Ar-condicionado veio do ar era uma das demandas fortes, era para a pessoa ficar fresquinha dentro do carro da Mercedes
Luiza	É, isso aí já não é urgência, mas agora no caso das geladeiras, essas coisas, ali seria uma urgência. Aí no caso uma forma de precaução podia ser controlar a liberação desse produto de acordo com o fim
Pesq. 1	O critério que ela tá falando é um critério de liberação, é, qual é a finalidade, pra que que a gente vai usar aquilo, aí você vai avaliar essa finalidade e vai julgar se é bom ou não produzir aquilo para aquele fim, é mais ou menos isso?
Luiza	Não se é bom ou não mas //
Regente	Se é uma demanda digna?
Luiza	Demanda sempre vai ser, eu tô tentando achar que é digno, é complicado pensar sempre nas questões sociais, enfim, mas no caso seria a partir desse princípio se for bom. Vai, o medicamento às vezes você consegue analisar algumas coisas, mas outras não, mas pela urgência de resolver alguma enfermidade você vai lá produz o medicamento mesmo sem saber quais são os riscos dela.

Na ocasião, um estudante problematizou a posição da aluna apresentando o caso dos alimentos transgênicos, para destacar os limites em se prevenir os riscos por meio da adoção do critério da *finalidade* para a qual a substância será empregada:

Tem que ter cuidado, como quando falavam dos transgênicos iam acabar com a fome. A gente sabe muito bem até onde vai essa alteração de não alterar nada do consumidor final, mas só que como era produzido ((inaudível)) eles liberaram. Acho que o fim se vai ser útil, se tem uma ideia muito boa, quem garante se vai ser ou não prejudicial mais pra frente se vai valer a pena depois. Por exemplo, o caso do câncer a partir de transgênicos não que tenha mas os casos de câncer era uma coisa que era pra impedir a fome (LUCIANO – *Intervenção disciplina HFC*).

Um segundo aspecto interessante aparece na última fala da aluna Luiza, transcrita na sequência discursiva anterior: *se há urgência de resolver alguma enfermidade, a produção do medicamento é justificada, mesmo sem se saber todos os riscos envolvidos*. Na disciplina HFC, esse ponto não foi explorado, mas na *intervenção piloto* um argumento semelhante foi proposto na discussão sobre como lidar com riscos desconhecidos: se os benefícios produzidos pela nova substância são grandes e seus riscos são aparentemente pequenos, isso justificaria sua produção. A sequência discursiva a seguir trata disso:

Quadro 18 – Sequência discursiva: ponderando benefícios grandes *versus* riscos pequenos. *Intervenção piloto.*

Turno	Transcrição da fala
Pesq. 2	Qual é a alternativa para lidar com esses riscos desconhecidos?
Carlos	Não tem o que fazer.
Pesq. 2	Ah tem ((alunos riem)) tem uma alternativa, qual é?
Vinícius	Parar ((inaudível))
Pesq. 2	Exatamente! Parar de fazer o que a gente tá fazendo. Essa é uma boa alternativa?
Igor	Não, pode ser que uma substância que o uso dela farmacêutica é excelente, mas pode ser que ela sem saber ela causa mutação num determinado tipo de bactéria que existe só em determinado tipo de lugar e causa um apocalipse zumbi ((estudantes riem)), porque ela evoluiu para uma bactéria nível absurdo. A gente não tem como prever isso por causa do efeito excelente milagroso daquele fármaco. A gente vai parar de produzir pela chance do risco de causar um problema em grande escala? É bem difícil.
Pesq. 2	É isso. É, então, como você falou, parar de pesquisar novos medicamentos, isso parece ser um preço muito alto pra pagar em comparação com o risco que parece pequeno de criar um apocalipse zumbi, que o pessoal achou engraçado, mas você conseguiu imaginar um jeito, tá certo? E eventualmente tem jeitos que a gente nem imagina, mas até plausível você colocou uma coisa plausível, parece pouco provável, mas é concebível que possa vir a acontecer de alguma forma né. Diante do risco pequeno de uma coisa que parece improvável nós vamos continuar correndo risco, porque estamos pensando no benefício maior que parece mais palpável, mais direto, mais importante para um número grande de pessoas no mundo.

Independente de qual estratégia seja adotada para a liberação de novas substâncias, um estudante na disciplina HFC justificou que: *sempre haverá mudança do mundo material pelo homem, motivado pela busca de desenvolvimento ou progresso, e mesmo que as precauções sejam tomadas, sempre haverá uma situação imprevista*. O reconhecimento da mudança do mundo material, causada pela atividade não só científica, mas, humana, expressa em sala de aula por esse estudante, está

de acordo com uma das principais compreensões que as aulas de ética química visam compartilhar.

Um aspecto adicional, mencionado durante a discussão na disciplina HFC, merece menção. Uma aluna colocou em dúvida a destruição da camada de ozônio pelos CFCs e, motivado por essa menção, o regente da disciplina comentou que a dúvida é compartilhada por uma autora de livros didáticos de Química:

Quadro 19 – Sequência discursiva: questionando a destruição da camada de ozônio.

Intervenção disciplina HFC.

Turno	Transcrição da falta
Elisa	E esse problema na verdade é questionável né, se os CFCs realmente causam a destruição da camada de ozônio, tem muita gente que questiona isso.
Regente	Isso é um negócio doido, tem uma autora de livros didáticos aí de química que é categórica afirmando essa correlação dos CFCs e a camada de ozônio não existe ((Elisa concorda)), é categórica, ela trata disso com mais de um composto químico

Esse diálogo ocorreu isoladamente e não produziu desdobramentos por parte do pesquisador. Na narrativa histórica, foi enfatizado que o consenso científico sobre a destruição da camada de ozônio se construiu ao longo de décadas, reunindo tanto propostas teóricas quanto resultados experimentais. Talvez pela confiança em tais pesquisas, o pesquisador adote a posição de que não há dúvidas em relação à destruição da camada de ozônio causada pelos CFCs. O deparar-se com uma posição oposta ou, no mínimo, que apresenta dúvidas com relação ao consenso científico, desestabilizou o pesquisador, provocando a não discussão das razões para a dúvida da aluna. Posições comunicadas pelos estudantes que entram em conflito com o que pensa o docente não podem ser ignoradas ou mesmo rechaçadas de forma dogmática. As razões para cada uma das posições devem ser expostas e discutidas.

Em resumo, nas duas intervenções houve discussões fecundas sobre os pontos levantados pelo caso histórico. Houve muitas ideias em comum, mas, também, ideias diferentes sendo compartilhadas em cada uma das intervenções. Aparentemente, o maior número de participantes na disciplina HFC contribuiu para uma discussão mais intensa em sala de aula, principalmente quando as ideias comunicadas por um estudante se opunham diametralmente às ideias de outro. Em tais situações, muitas vezes se manifestavam simultaneamente, o que dificultava o desenvolvimento da discussão. Apesar dessa dificuldade, vale reafirmar que a promoção do pensamento

divergente, seja pelo docente ou pelos estudantes, é importante na medida em que cria situações de engajamento nas discussões. A comunicação de ideias que criam tensões com as que se tem estimula o estudante a se manifestar em discussões sobre problemas éticos.

Foi possível notar algumas dificuldades características da abordagem por meio de estudos de caso histórico, em especial, problemas de apreensão e interpretação dos eventos comunicados, que influenciam a análise do problema ético em questão. Por isso, a interação contínua entre docente e estudantes é necessária para esclarecer e problematizar as compreensões comunicadas em sala de aula.

Por outro lado, o caso histórico proporciona elementos concretos para os estudantes avaliarem os riscos e incertezas inerentes às novas substâncias químicas. Conhecer a obtenção, comercialização e, principalmente, os efeitos deletérios a médio e longo prazo, sobre a sociedade e o ambiente, das substâncias químicas descritas no caso parece sensibilizar os estudantes, considerando sua preocupação em realizar acompanhamento contínuo das inovações produzidas. Nesse sentido, o *filosofar sobre a Química* não resulta apenas numa compreensão epistemológica mais elaborada sobre a Química – isto é, no nível das ideias, do pensar, etc. –, mas, também, em bases para mudar a forma de agir no exercício da atividade química.

5.4.5. Análise da terceira aula: caso hipotético & ética química

5.4.5.1. Caso hipotético: *Próximo ao limite*

O terceiro momento das intervenções consistiu na apresentação e discussão da atividade que denominamos *caso hipotético*. Na *intervenção piloto*, os estudantes tiveram cerca de 40 minutos para ler e responder às questões propostas sobre o caso hipotético *Próximo ao limite* ([Apêndice 4](#)), aos quais se seguiram cerca de 55 minutos de discussão coletiva entre todos os participantes. A aula, incluindo outras atividades pontuais, teve aproximadamente 1h50min de duração total¹⁴⁵. Ao todo, 7 estudantes participaram das atividades e responderam individualmente, por escrito, às questões propostas.

¹⁴⁵O mapa de episódios da primeira parte da aula III da *intervenção piloto* pode ser consultado em: <https://goo.gl/HJizri>. O mapa de sequências discursivas da discussão feita nessa aula pode ser consultado em: <https://goo.gl/ZQqUwx>. Disponível em: 17 de fev. de 2018.

Na *intervenção disciplina HFC*, 40 minutos foram dedicados à leitura e resposta às questões do caso, seguidos por 25 minutos de discussão coletiva, sendo que a aula, incluindo outras atividades pontuais, teve aproximadamente 1h20min de duração total¹⁴⁶. A atividade contou com a participação de 23 estudantes, os quais se organizaram em duplas ou trios para discutirem entre si e responderem por escrito às questões propostas.

A primeira questão do caso hipotético *Próximo ao limite* foi: *Procure identificar todas as possíveis ações (decisões) que Mariana pode tomar, incluindo as ações com as quais você não concorda*. Num primeiro momento, as possíveis ações ou decisões foram comunicadas livremente, de maneira a abranger tanto as decisões com que os estudantes concordam quanto as com que eles não concordam. Nesse exercício preliminar, não era necessário considerar a viabilidade de cada opção ou suas consequências.

Feito isso, o diálogo ocorreu no sentido de identificar cada uma das ações ou decisões pensadas pelos estudantes. Na *intervenção piloto*, as seguintes ações ou decisões foram comunicadas ao longo da interação entre pesquisador e estudantes: 1) não fazer nada; 2) contatar o órgão ambiental (PSA); 3) realizar as análises na empresa por conta própria, sem anuência do supervisor; 4) pedir demissão; 5) conversar com o chefe do supervisor; 6) procurar uma empresa concorrente para realizar as análises; 7) contatar a indústria química próxima à empresa. Na disciplina HFC, além dessas possibilidades, foram propostas também as seguintes: 8) conversar novamente com o supervisor; 9) falsificar os resultados; 10) comparar os resultados obtidos com os realizados por outros laboratórios; e 11) divulgar os dados para a mídia.

Em discussões desse tipo, uma ou mais das possíveis ações ou decisões propostas pelos estudantes podem, eventualmente, exigir maiores esclarecimentos. Por exemplo, ainda que os estudantes tivessem sido instruídos, no início, a comunicar todas as opções que imaginassem, incluindo as ações ou decisões com as quais não concordassem, a possibilidade de *falsificar os resultados* causou espanto, não só dos colegas estudantes como do pesquisador. Na ocasião, não se explicitou que essa era

¹⁴⁶O mapa de episódios da aula III da *intervenção disciplina HFC* pode ser consultado em: <https://goo.gl/ErBxrG>. O mapa de seqüências discursivas da discussão feita nessa aula pode ser consultado em: <https://goo.gl/2AVWtB>. Disponível em: 17 de fev. de 2018.

uma opção válida, mas, pelo menos, o grupo teve a oportunidade de explicar o que queriam dizer, na sequência discursiva descrita a seguir:

Quadro 20 – Sequência discursiva: esclarecendo uma ação/decisão.

Intervenção disciplina HFC.

Turno	Transcrição da fala
Pesq. 1	Uma quinta opção?
Amanda	Fraudaria os resultados.
Pesq. 1	Fraudaria os resultados ((Walter ri acintosamente))
Vagner	Ela fraudaria tanto contra o superior quanto a favor da decisão dela.
Pesq. 1	Ela fraudaria no sentido de ir a favor do que ela tá com dúvida ali que é refazer.
Vagner	Para obrigar de certa forma a empresa a refazer e ela ter certeza ou também o contrário ela descartar o último resultado e considerar que tá tudo certo.

No decorrer da interação, o pesquisador procurou estimular e propor opções não comunicadas pelos estudantes. Na *intervenção piloto*, o silêncio dos estudantes após a comunicação de algumas decisões ou ações, como se houvessem esgotado as possibilidades, levou o pesquisador a sugerir as opções 5 e 7. Na disciplina HFC, todas as possibilidades foram apontadas pelos próprios estudantes. Assim, a fecundidade da atividade aumentou de acordo com o número de participantes. Não obstante, a discussão preliminar entre os estudantes na forma de duplas ou trios pode ter sido mais frutífera para a consideração das possíveis opções disponíveis, visto que na *intervenção piloto* os estudantes fizeram essa etapa individualmente.

Ainda que não tenha sido solicitado aos estudantes que explicassem como realizariam as ações propostas, alguns deles sentiram a necessidade de explicar seus planos de ação. Por exemplo, considerando a opção *conversar novamente com o supervisor* a partir dos comentários de outros estudantes, o grupo de Walter e Daniela explicou brevemente como abordariam o supervisor:

Quadro 21 – Sequência discursiva: explicando como agir. *Intervenção disciplina HFC.*

Turno	Transcrição da fala
Pesq. 1	Segunda possibilidade de ação da Mariana?
Walter	Sugerir um pouco mais, vamos dizer assim, um pouquinho mais de ênfase na sugestão sabe.
Pamela	Enérgica!
Walter	É vamos colocar sugestão .
Fernando	Ameaça!
Walter	Não é ameaça! //
Daniela	Olha é assim, assim, assado, você pode sofrer com a perda de credibilidade se a empresa for denunciada, enfim que a gente vai comentar depois.

Todas as ações ou decisões comunicadas pelos estudantes poderiam ter seu modo de execução explicado, e alguns grupos manifestaram espontaneamente os detalhes de suas propostas.

Intimamente associada ao *como* fazer está a análise da *viabilidade* das ações, entendida como a plausibilidade de realizar de fato a ação, sem considerar, ainda, suas consequências, mas considerando os meios disponíveis para concretizá-la. Cada opção exige um esforço particular para se concretizar. Por exemplo, a decisão de não fazer nada provavelmente é a que exige menos, pois só depende de Mariana para se concretizar.

Nas intervenções, a análise da viabilidade das opções comunicadas ocorreu de maneira assistemática e pontual. Por exemplo, na *intervenção piloto*, o pesquisador questionou os estudantes sobre a viabilidade de Mariana repetir as análises por conta própria na empresa, sem anuência do supervisor. Muitos estudantes entenderam essa opção como viável. Por isso, buscou-se identificar o que eles conheciam sobre química analítica. Constatou-se que eles conheciam técnicas analíticas clássicas, como gravimetria e titulação. Por outro lado, pouco conheciam sobre técnicas instrumentais, como cromatografia e ressonância magnética nuclear (RMN).

A opção dos estudantes pela análise independente é coerente tendo em vista as técnicas clássicas, com as quais Mariana, desde que tivesse livre acesso aos equipamentos e reagentes, poderia empreender sozinha a análise. Contudo, em sala de aula foi proposto um cenário mais complexo: Mariana trabalharia em um laboratório de análises que provavelmente utiliza métodos instrumentais, e que emprega vários especialistas. A dificuldade para realizar as análises aumentaria, pois outras pessoas estariam cientes ou participariam da ação. A seguir, transcrevemos o trecho no qual o pesquisador comunica um cenário mais complexo aos estudantes:

É vejam uma coisa que tá sugerida aí no texto. Quando ela fala com o chefe, o chefe diz isso custaria muito tempo e dinheiro. Tá sugerindo que fazer uma análise nesse caso não é uma coisa simples e pode não estar ao alcance dela. Isso é um aspecto do trabalho com a química, quer dizer, cada vez mais a gente tem instrumentação né de aparelhos, que são caros, são complexos e não estão ao alcance de uma pessoa que está trabalhando ali na empresa e às vezes o próprio processo de conseguir a amostra pode não estar ao alcance dela. Por exemplo, se a amostra vem de outro lugar não é ela que vai buscar. Será que ela teria que fazer isso? Como é feito isso? Por exemplo, que profundidade dessa represa? Em que lugar? Que ponto, será que ela tem todas essas informações para poder fazer? Será que tá ao alcance dela simplesmente pensar, considerar a viabilidade dela fazer ela própria a análise? (Pesquisador 2 – *Intervenção piloto*).

Não se espera que os estudantes pensem em situações tão elaboradas como as descritas, dentre outros motivos, pela pouca ou nenhuma experiência profissional. Assim, o papel do docente é fundamental para compartilhar sua experiência e conhecimentos em química, com o objetivo de apresentar cenários mais complexos que os imaginados pelos estudantes.

Os próprios estudantes, em alguns momentos, apontaram possíveis obstáculos envolvidos. Na opção de procurar uma empresa de análises concorrente à de Mariana, foi mencionado o conflito de interesse entre as empresas de análises como um obstáculo para efetivar a ação:

Quadro 22 – Sequência discursiva: avaliando a viabilidade da opção de procurar uma empresa concorrente. *Intervenção disciplina HFC*.

Turno	Transcrição da fala
Luciano	Ela pode se tiver outras empresas tentar comparar os resultados já que ela não pode refazer, comparar com outras empresas que usam a represa também.
Pesq. 1	Caso existam outras empresas / é / laboratórios ali que investiguem aquela água comparar com o que eles têm encontrado.
Renata	É que é difícil se tem outros laboratórios também utilizam aquela represa talvez eles tenham o mesmo interesse o ideal seria alguém que fosse imparcial.
Luciano	Mas eles teriam que investigar todas as empresas, ela não sabe quem que tá contaminando.
Daniela	Difícil é as outras empresas fornecerem esses dados.

Na ocasião da transcrição anterior, alguns estudantes mostraram-se contrários ao alegado obstáculo da outra empresa de análises não fornecer seus resultados para a consulta da Mariana. O momento poderia ter proporcionado uma análise pormenorizada das dificuldades envolvidas em consultar os dados de outra empresa,

porém, isso não foi empreendido em sala de aula. Situações como a ilustrada no quadro anterior, em que a divergência de posições se materializam em sala de aula, são fecundas para entender as bases de cada posição e ao longo disso delinear a análise de viabilidade da ação ou decisão comunicada.

A presença reduzida de momentos de análise da viabilidade das decisões ou ações comunicadas decorreu do seu não planejamento e pelo tempo disponível para isso. A primeira e a segunda questões do caso hipotético direcionavam a atenção dos estudantes para dois aspectos: reconhecimento das possíveis ações; e análise das consequências de cada ação. Essa restrição não pretende sugerir que a escolha de uma ação depende apenas da análise de suas consequências. Certamente, a análise de sua viabilidade também é necessária. Por isso, essa análise deve ser abordada por questões que direcionem a ela, tais como: *O que é preciso para implementar a decisão tomada? Devo solicitar a ajuda de alguém? Que recursos materiais são necessários? Quais são os obstáculos para concretizar a decisão tomada?* Questões como essas podem ser incorporadas a casos hipotéticos voltados à discussão de problemas éticos.

A segunda questão do caso hipotético *Próximo ao limite* é: *Para cada uma das ações, quais são as possíveis consequências para Mariana? Quais as consequências para a empresa em que ela trabalha? E quais as consequências para a sociedade?* Em cada uma das intervenções buscou-se avaliar o maior número possível de opções comunicadas na primeira questão. Na *intervenção piloto*, por conta do maior tempo disponível e menor número de opções sugeridas pelos estudantes, todas foram analisadas, enquanto na disciplina HFC apenas uma parte das opções foi discutida.

No quadro a seguir, compilamos as ações sugeridas e as consequências apontadas pelos estudantes da disciplina HFC. A discussão ampliou algumas das ações ou decisões formuladas no âmbito da primeira questão.

Quadro 23 – Compilação das ações ou decisões e suas consequências comunicadas pelos estudantes. *Intervenção disciplina HFC.*

Ação	Consequências para Mariana	Consequências para a Mundo Verde	Consequências para a Sociedade
1) Não fazer nada	Romper seu código de ética por não zelar pela sociedade	Assume o risco da água estar contaminada	Possíveis danos à saúde pública e ao meio ambiente
2) Comunicar o órgão ambiental	Possível demissão	Multas, possível interdição, processo judicial e danos à sua imagem	Benéfico à sociedade por evitar ou minimizar possíveis contaminações
3a) Pedir demissão e não fazer nada	Perda do emprego e possível processo judicial por omissão	Assume o risco da água estar contaminada	Possíveis danos à saúde pública e ao meio ambiente
3b) Pedir demissão e contatar o órgão ambiental	Perda do emprego, porém, seu ato pode produzir uma imagem positiva e facilitar a busca por um novo emprego	Multas, possível interdição, processo judicial e danos à sua imagem	Benéfico à sociedade por evitar ou minimizar possíveis contaminações
4a) Conversar com o chefe do supervisor e ele acatar a preocupação de Mariana	Mantém o emprego e realiza novas análises.	Possível demissão do supervisor, porém, evita ou minimiza possíveis riscos à sociedade	Benéfico à sociedade por evitar ou minimizar possíveis contaminações
4b) Conversar com o chefe do supervisor e ele não acatar a preocupação de Mariana	Possível demissão por não seguir as ordens do supervisor.	Assume o risco da água estar contaminada	Possíveis danos à saúde pública e ao meio ambiente

A sequência discursiva a seguir se refere à decisão de comunicar o órgão ambiental:

Quadro 24 – Sequência discursiva: consequências apontadas pelos estudantes ao comunicar o órgão ambiental. *Intervenção disciplina HFC.*

Turno	Transcrição da fala
Pesq. 1	Vamo lá a segunda era, quem falou a segunda? Comunicar o PSA. Qual a consequência para a Mariana?
Classe	Ser demitida.
Pesq. 1	Beleza! Para a empresa?
Classe	Multa
Pesq. 1	Só multa?
Elisa	Receber processos de outras empresas também.
Pesq. 1	Processos. Que mais? Multas. Processos. Que mais? Tem mais possibilidades negativas?
Renata	Interdição.
Daniela	Danos à imagem se a empresa for muito grande
Pesq. 1	Multa. Eventualmente fechar ou interditar durante um tempo. De algum modo manchar a imagem para a opinião pública da empresa.
Murilo	Se a água estiver contaminada!
Pesq. 1	Se a água estiver. Se essa possibilidade da Mariana, da água estiver contaminada. Beleza. E para a sociedade?
Renata	É benéfico porque ela entraria em ((inaudível))
Pesq. 1	Ou seja, estando cientes que tem um problema ali, medidas poderiam ser tomadas tanto para ou minimizar ou acabar com o problema

As consequências apontadas em sala de aula foram elaboradas a partir das informações fornecidas pelo caso hipotético e, também, motivadas pelos conhecimentos e experiências dos participantes da discussão. A plausibilidade de uma certa consequência, vista isoladamente, pode ser questionada. Contudo, o aspecto mais importante não se encontra em cada consequência específica descrita no quadro anterior, mas no conjunto de consequências. A discussão das sugestões dos alunos permite exercitar a reflexão das consequências de uma decisão ética para si, para os outros e para o ambiente. Além disso, explicita a tensão entre ganhos e perdas pessoais *versus* ganhos e perdas sociais e ambientais envolvidas em problemas éticos – o que fica claro ao observar que, na maior parte dos cenários descritos e compilados no Quadro 23, a tomada de decisão em prol do ambiente e da sociedade pode custar o emprego de Mariana. Isso transmite uma imagem de complexidade em torno da tomada de uma decisão ética, em que prós e contras estão em jogo e devem ser ponderados.

Nas duas intervenções trabalhou-se com a possibilidade da água da represa realmente apresentar riscos para a população, ainda que haja dúvidas quanto a isso de acordo com as informações fornecidas pelo caso hipotético. A partir disso buscou-se delinear as consequências para as diferentes opções. Porém, pode também ser

pertinente apresentar cenários diferentes para os estudantes ponderarem as possíveis consequências. Por exemplo, na *intervenção disciplina HFC* os estudantes foram solicitados a avaliar as consequências no caso da água *não* apresentar riscos à saúde e ao ambiente após a investigação do órgão ambiental. Em tal situação, os estudantes reconheceram consequências diferentes para as três partes envolvidas, mencionando-se, por exemplo, que Mariana, além de perder o emprego, poderia ser processada por ter feito a denúncia.

Ponderar a possibilidade da água não estar contaminada permite aos estudantes vislumbrarem o risco de suas ações resultarem em consequências sérias a si próprios, caso não estejam com a razão. Considerar tais cenários permite aos estudantes reconhecerem todas as dificuldades envolvidas em uma decisão ética, em que até mesmo a possibilidade deles estarem equivocados deve ser considerada e avaliada.

Durante a discussão da segunda questão, os estudantes da *intervenção piloto* começaram a discutir a confiabilidade e a representatividade da concentração 5,1 ppm encontrada por Mariana e que motivou sua preocupação em relação aos possíveis riscos da água da represa:

Quadro 25 – Sequência discursiva: avaliando a confiabilidade e a representatividade dos resultados de Mariana. *Intervenção piloto*.

Turno	Transcrição da fala
Carlos	Agora esse 5.1 chega a ser muito grave mesmo?
Pesq. 2	Como?
Carlos	Esse 5.1 chega a ser muito grave?
Pesq. 2	Acima do limite //
Carlos	A gente considera na faculdade quando um número passa acima ou sei lá passa dois ((inaudível)) mas se for, por exemplo, se fosse assim 10 resultados, todas as amostras fossem abaixo de 5, só essa que passou isso não seria//
Pesq. 2	Tá vendo, você tá sugerindo que faça mais análises ((todos riem))
Pesq. 1	Sem dúvida a quantidade de informações disponível vai ter influência na decisão você ter três testes e dez e dependendo de cada valor do conjunto de valores vai mudar sua avaliação.
Pesq. 2	Mas vocês vão perceber quando estiverem trabalhando que fazer 3 e fazer 10 é diferente , porque custa, certo? Custa tempo e dinheiro! Então é, num mundo ideal, claro vamos fazer dez, mas e no mundo real que as coisas custam, certo? E é por isso que a gente tem que tomar esse tipo de decisão.

A crítica do estudante é válida considerando os conhecimentos em química analítica. Contudo, o caso hipotético apresenta duas informações que o estudante não considerou em sua avaliação: i) a média das três amostras é inferior ao limite, fato comunicado pelo chefe a Mariana como uma das justificativas para não realizar mais

análises; e ii) Mariana realiza tais análises há muitos anos e nos últimos meses ela tem percebido um aumento gradativo das concentrações; esse é o motivo que a fez ficar preocupada com o valor 5,1 e com os possíveis riscos envolvidos. Ou seja, há outros elementos no caso hipotético para entender de maneira mais ampla o valor 5,1. Essa situação revela, de maneira semelhante ao caso histórico, que o nível de apreensão das informações relativas ao caso hipotético é crucial para sua análise e posterior posicionamento. Diante disso, a pequena extensão dos casos hipotéticos pode ser um obstáculo ao aprofundamento das reflexões.

A última fala do Quadro 25 esclarece, ainda, que decisões éticas são tomadas, comumente, sob circunstâncias não ideais. O que o conhecimento científico-técnico recomenda pode entrar em conflito com exigências e demandas de outra natureza. Cada uma das partes precisa ser ponderada para embasar a decisão. Além disso, em situações reais, provavelmente, haverá pouco tempo para ponderar, ou haverá pressões de diferentes instâncias para que seja tomada uma decisão rapidamente – o que, mais uma vez, destaca a dificuldade na tomada de decisões sobre problemas éticos.

Após a discussão das duas primeiras questões, os estudantes comunicaram a ação ou decisão que tomariam no lugar de Mariana e justificaram o porquê de tal escolha. Na disciplina HFC, cada dupla ou trio apresentou uma das seguintes posições: 1) contatar o órgão ambiental, mesmo que isso custasse o emprego de Mariana, para que a sociedade e o ambiente fossem protegidos; 2) contatar o órgão ambiental, motivado pelo código de ética com o qual Mariana se comprometeu a seguir em sua profissão; 3) refazer as análises, com o objetivo da empresa reavaliar seus métodos de análise; e 4) contatar o chefe do supervisor para argumentar em prol de mais análises.

Na *intervenção piloto*, as posições dos estudantes foram as seguintes: 1) não fazer nada, para garantir o emprego; 2) não fazer nada, por não saber todas as questões envolvidas na decisão da empresa em não refazer as análises; 3) refazer as análises sem anuência do supervisor, para proteger o ambiente e a cidade na qual Mariana vive; 4) refazer as análises, para avaliar a confiabilidade dos resultados e, caso fossem confiáveis, comunicar à empresa; se esta não considerasse os riscos, contatar o órgão ambiental; e 5) procurar o chefe do supervisor e, caso este rejeitasse novas análises, contatar o órgão ambiental, tendo em vista o risco de contaminação para a população e ambiente. Nas duas intervenções, as ações ou decisões

comunicadas oralmente pelos estudantes em sala de aula foram simples e diretas, tais como parafraseadas por nós, com exceção da seguinte passagem, observada na *intervenção piloto*:

Eu faria mais uma análise para ver se o erro é meu ou não. Se fosse um erro meu tudo bem tá certo eu errei não ia insistir, mas eu faria análises de qualquer forma e se eu visse que não foi erro meu aí eu entraria em contato com o órgão responsável mas de qualquer forma eu faria mais essa análise. Mas antes eu comunicaria a empresa. Eu faria essa análise, comunicaria a empresa e falaria deu mais, deu menos para ver se a empresa toma uma posição e não ir no órgão. Se a empresa não tomasse aí sim eu iria, mas eu seria demitida de qualquer forma ((todos riem)) porque tipo assim, eu desobedei uma regra, ele falou não faça a análise ((inaudível)) pode ser muito caro (ALICE – *Intervenção piloto*).

Diferentemente das demais ações ou decisões comunicadas pelos estudantes, essa se caracteriza por traçar um plano de ação, precavendo-se primeiro em relação aos resultados obtidos. Após isso, buscando persuadir as pessoas de seu trabalho para os riscos envolvidos, e somente depois disso procurando o órgão ambiental para apresentar suas preocupações. Não obstante, tendo ciência de que tal conduta provavelmente custaria seu emprego.

A resolução de problemas éticos reais em geral envolvem inúmeras etapas até se atingir um desfecho, o que pode incluir, como ilustrado pela fala da estudante, o recurso a uma sequência de diferentes ações ou decisões. De acordo com o resultado obtido em uma ação ou decisão particular, pode ser necessário mudar a abordagem para resolver o problema ético. Por conta disso, restringir a solução de um problema ético a uma única ação ou decisão pode implicar em demasiada perda de sua complexidade. Assim, seria mais adequado promover a discussão de planos de ação elaborados, cogitando-se o possível fracasso de uma abordagem e propondo mudanças de acordo com as circunstâncias.

Apesar da inegável distância entre o caso hipotético e problemas éticos “reais”, a plausibilidade da situação descrita foi reconhecida pelos estudantes. Uma das alunas comentou, ao final da discussão, que ela própria viveu uma situação semelhante em seu estágio supervisionado do curso técnico em Química:

Eu trabalhei numa coisa bem semelhante ao desenvolvido. Eu fazia a análise de cinco porções e umas amostras lá tavam acima aí eu tentei refazer aí ele ((seu chefe)) meio deu a entender que eu devia colocar um

número nas amostras e eu falei que não ia fazer isso e depois disso eu fui demitida (ELISA – *Intervenção disciplina HFC*).

Para esclarecer melhor a situação vivida pela estudante, conversamos com ela pessoalmente após o término da aula. Ela descreveu que sua função era realizar análises rotineiras. Em certa ocasião, ela encontrou resultados acima do esperado para uma substância, cuja concentração poderia trazer riscos. Ela repetiu as análises inúmeras vezes para confirmar a suspeita e, após isso, entrou em contato com seu chefe para relatar o problema. Segundo ela, o chefe sugeriu que as empresas pagavam ao laboratório por “resultados favoráveis” e, por esse motivo, ela deveria alterar os resultados obtidos para não comprometer o acordo. Sua recusa em atender o pedido do chefe lhe custou o estágio. Portanto, o relato da estudante reforça a importância de se promover discussões de problemas éticos tais como os abordados pelo caso hipotético em questão.

Em síntese, a aplicação do caso hipotético *Próximo ao limite* em sala de aula revelou sua fecundidade para a discussão de problemas éticos. O caso fomentou a reflexão sobre a pluralidade de ações ou decisões passíveis de serem tomadas na situação descrita, bem como a análise de cada uma das consequências associadas. Assim como no caso histórico, as tensões entre as diferentes opções comunicadas pelos estudantes acirraram os ânimos da classe. Apesar da dificuldade de se conduzir a discussão em tais ocasiões, elas engajavam ainda mais os estudantes no problema ético, levando-os a explicar em maiores detalhes seus pontos de vista. Isso indica que a promoção do pensamento divergente em discussões dessa natureza incentiva a participação dos estudantes.

Nenhuma das decisões comunicadas em sala de aula pelos estudantes foi considerada como “a” melhor decisão ou avaliada como a “decisão certa”. Todas as decisões foram consideradas legítimas. A influência do pesquisador se deu no decorrer da discussão, apresentando diferentes perspectivas e analisando os limites das ideias comunicadas pelos estudantes. Esse é o papel do *ensinar Filosofia da Química*. Por outro lado, o desenvolvimento do *filosofar sobre a Química* é uma postura construída pelo próprio estudante, que deve ter autonomia para escolher, desde que de maneira crítica e reflexiva.

5.4.5.2. Caso hipotético: *Sumiço de uma substância venenosa*

Na *intervenção piloto*, a aplicação do caso hipotético *Sumiço de uma substância venenosa* ([Apêndice 5](#)) envolveu aproximadamente 18 minutos para a leitura e redação das respostas, e 36 minutos para a discussão com toda a classe. A aula como um todo, incluindo outras atividades, teve duração de 1h16 min¹⁴⁷. No total, sete estudantes participaram das atividades e responderam individualmente, por escrito, às questões propostas.

Na *intervenção disciplina HFC*, este caso hipotético foi encaminhado como atividade extraclasse, na qual os mesmos grupos formados no caso hipotético *Próximo ao limite* deveriam responder às questões e entregar as respostas na semana seguinte. Ao todo, 16 estudantes participaram da atividade. A discussão a seguir utiliza tanto os dados produzidos em sala de aula na primeira intervenção quanto os resultados obtidos por meio dos questionários respondidos por escrito na segunda intervenção.

A primeira questão buscou reconhecer todos possíveis envolvidos na intoxicação do funcionário da limpeza: *Identifique todas as partes envolvidas que culminaram na intoxicação do funcionário encarregado da limpeza do laboratório, e descreva a responsabilidade de cada uma delas nesse episódio. Outras pessoas, além das mencionadas no texto, também podem ser responsabilizadas? Justifique.*

No caso hipotético, mencionou-se intencionalmente apenas dois personagens/agentes: Eduardo, o químico que produziu a substância; e Miguel, o funcionário que se intoxicou ao limpar o frasco quebrado que continha a substância. A análise de problemas éticos deve buscar ir além do visível, do aparente e do dado. Assim, no desenvolvimento da discussão, além dos agentes citados anteriormente, os seguintes foram acrescentados: a empresa ou o chefe dos funcionários da limpeza; os técnicos do laboratório; e a instituição ou o administrador que lida com a empresa de limpeza.

Nesse momento, em particular, é importante, se for caso, sugerir outros agentes não cogitados nas respostas dos estudantes para avaliação da classe. O intuito é ampliar o máximo possível o número de possíveis agentes envolvidos indiretamente

¹⁴⁷O mapa de episódios da segunda parte da aula III da *intervenção piloto* pode ser consultado em: <https://goo.gl/Ryh9LM>. O mapa de sequências discursivas da discussão feita na segunda parte da aula III da *intervenção piloto* pode ser consultado em: <https://goo.gl/8iTR8M>. Disponível em: 17 de fev. de 2018.

com o problema ético em questão. Na sequência discursiva a seguir, discute-se o papel da instituição que contrata os funcionários da limpeza:

Quadro 26 – Sequência discursiva: avaliando as responsabilidades da instituição.

Intervenção piloto.

Turno	Transcrição da fala
Pesq. 1	Quem contrata a empresa de limpeza não tem responsabilidade? ((uma aluna não entendeu)) Quem contrata, quem contratou a empresa, estabeleceu lá o contrato seja o departamento, a universidade, tem responsabilidade?
Carlos	Tem porque tem que saber o histórico da empresa ((inaudível o fim)) //
Alice	Ela tem a responsabilidade de instruir a empresa que está sendo contratada. Por exemplo, se uma empresa de limpeza geral aonde não lida com coisas de química, tem que dar uma instrução para essa empresa, agora se é uma empresa especializada em limpeza de laboratório não é tão necessário passar esse tipo de instrução porque ela tem os equipamentos de segurança essas coisas, é isso.
Pesq. 2	É, acaba sendo uma prática comum na atualidade que é terceirização. Não diz aqui onde o Eduardo trabalha, pode ser na universidade, um instituto de pesquisa, pode ser uma empresa, pode ser um laboratório de pesquisa de uma empresa, de qualquer maneira essas instituições têm contratado empresas terceirizadas para fazer a limpeza. Para contratar uma empresa é preciso falar da especificidade do trabalho ali do laboratório de química ou eventualmente pode ser que a própria empresa, a universidade de pesquisa, contrate diretamente seus funcionários de limpeza, de novo ao contratar esses funcionários você tem que instruir treinar para as especificidades daquele trabalho. É o que temos até o momento. Mais alguma ideia? Alguém sugere mais um envolvido?

Para cada um dos agentes, as seguintes responsabilidades foram descritas em sala de aula durante a *intervenção piloto*. Na *intervenção disciplina HFC* se observou um perfil semelhante de agentes e responsabilidades, tais como os descritos a seguir:

Quadro 27 – Agentes e suas responsabilidades de acordo com os estudantes.

Intervenção piloto.

Agente	Responsabilidades
Eduardo	<ul style="list-style-type: none"> - Reconhecer a periculosidade da substância (substância extremamente tóxica); - Comunicar no rótulo da substância sua periculosidade e guardá-la em local adequado; - Informar demais membros do laboratório sobre a periculosidade da substância produzida e o local no qual ela está sendo guardada.
Miguel	<ul style="list-style-type: none"> - Seguir os procedimentos de limpeza instruídos para o laboratório (o que limpar; onde limpar; como limpar); - Utilizar equipamentos de proteção individual (EPIs).
Chefe dos funcionários da limpeza	- Informar Miguel sobre como proceder na limpeza do laboratório em geral e, também, em casos de acidentes envolvendo substâncias químicas.
Empresa de limpeza	- Selecionar pessoas aptas a realizar o trabalho.
Técnico do laboratório	- Prezar pela organização adequada das substâncias químicas do laboratório.
Instituição	<ul style="list-style-type: none"> - Contratar empresas de limpeza aptas a realizarem o trabalho em laboratórios; - Instruir a empresa sobre a natureza do trabalho para o qual ela está sendo contratada.

Ainda que o propósito da questão fosse a identificação e atribuição de responsabilidades dos agentes, nas duas intervenções a argumentação dos estudantes associou-se comumente a apontar a não tomada de uma precaução ou medida como fator que pode ter causado o acidente. Para alguns estudantes, a identificação dessa não ação era acompanhada pela atribuição de “culpa” ou “parcela de culpa” ao agente em questão.

Não era objetivo da primeira questão empreender julgamentos de possíveis “culpados”. Isto foi feito no âmbito da segunda questão, na qual, a partir do delineamento prévio das responsabilidades dos agentes, foi pedido que os estudantes apontassem eventuais “culpados” pelo ocorrido, e que justificassem suas respostas. Os trechos a seguir, extraídos da discussão em sala de aula e dos questionários escritos, são representativos das opiniões dos estudantes:

[...] pensei nos técnicos do laboratório porque eles acompanham tudo que está sendo feito no laboratório então se o Eduardo fez o que fez e eles não falaram nada então também têm uma parcela de culpa (CARLOS – *Intervenção piloto*, grifo nosso).

Eu queria falar uma coisa. Você falou que a empresa tem culpa sim, a empresa que contratou ele. Eu acho que se a empresa passou as

informações pra ele do que se ia utilizar, ela não tem culpa, até porque se acontece um acidente de trabalho e a pessoa tem um certo empenho, mas não sabe, a empresa não tem culpa (ALICE – *Intervenção Piloto*, grifos nossos).

Não ter colocado no rótulo que se tratava de uma substância altamente tóxica; Não ter armazenado em um local menos propenso a quedas; Não ter comunicado e questionado o sumiço da substância ao se dar conta do mesmo; Ter desenvolvido algo tão tóxico (ANA PAULA – *Intervenção disciplina HFC*, grifos nossos).

No caso hipotético *Próximo ao limite*, as possíveis consequências deletérias estavam no nível do possível/tangível. Essa característica da narrativa orienta os estudantes a pensarem para o futuro, necessitando considerar a possibilidade ou não das consequências negativas ocorrerem, bem como quais medidas podem ser tomadas para evitá-las ou minimizá-las. O caso hipotético *Sumiço de uma substância venenosa*, por outro lado, finaliza a narrativa com um dano concreto, a saber, a intoxicação do funcionário da limpeza. Por esse motivo, os estudantes o analisam em termos retrospectivos, e inevitavelmente buscam entender o ocorrido por meio da identificação de culpados.

A abordagem adotada, influenciada pela estrutura da narrativa, pode resultar na compreensão de que *ter responsabilidade* sobre algo implica necessariamente em *culpa*. Porém, como foi explicado pelo pesquisador em sala de aula, a responsabilidade diz respeito, dentre outras coisas, a reconhecer possíveis riscos e perigos inerentes ao exercício da profissão, e a tomar as devidas precauções para que não ocorram efeitos indesejáveis ou, caso sejam inevitáveis, minimizar seu impacto.

Uma versão alternativa do caso poderia, por exemplo, encerrar a narrativa após a obtenção da substância química, sem que ela gere danos. Acrescentando, ainda, detalhes sobre a dinâmica do laboratório, como a presença de pesquisadores, estudantes de iniciação científica, técnicos de laboratório e funcionários encarregados da limpeza sem quaisquer conhecimentos sobre Química. A partir disso, questões sobre quais responsabilidades o químico tem em relação à substância que ele produziu podem ser feitas e, também, indagações sobre quais medidas podem ser tomadas para não ocorrerem acidentes, tendo em vista o público que transita naquele laboratório.

Apesar da associação constante entre *responsabilidade* e *culpa*, em diferentes momentos os estudantes comunicaram outras ideias sobre responsabilidade. O trecho a seguir ilustra uma compreensão de responsabilidade atribuída ao químico Eduardo:

[...] eu acho que primeiro ele tinha que ter pensando que era uma coisa **tóxica e quebra** ((se refere ao frasco de vidro)). Então você sempre deve procurar, não sei se é o caso, não sei se podia colocar em plástico, colocar essa substância em plástico porque se cair no chão você pega. E eu acho que como ele criou um produto tóxico novo se não existe, não tem antídoto, se não tem antídoto a pessoa vai morrer, não tem o que fazer. Então ele podia ter avisado o laboratório. Olha gente, não só rotular bonitinho, precisa avisar as pessoas de que existe uma coisa mais perigosa que o normal ali dentro (BEATRIZ – *Intervenção piloto*).

A atribuição de responsabilidades e as medidas sugeridas pelos estudantes devem ser avaliadas pelo docente, pois as primeiras podem não ser condizentes com a função desempenhada e as segundas podem ser inviáveis ou pouco práticas, tendo em vista o que se conhece da atividade química. Por exemplo, na seguinte sequência discursiva se discute com os estudantes se o funcionário da limpeza deveria limpar ou não o frasco:

Quadro 28 – Sequência discursiva: avaliando a responsabilidade de Miguel.

Intervenção piloto.

Turno	Transcrição da fala
Pesq. 1	Mas será que seria responsabilidade do funcionário limpar aquela substância?
Alice	O frasco?
Pesq. 1	É! Retirar de algum modo?
Alice	Isso eu já não sei.
Beatriz	Para mim isso é responsabilidade do técnico. Provavelmente como ele não sabia o que tava mexendo, acho que deveria se ele tem essa orientação de não sabe o que é chama o técnico que ele vai saber mexer.
Marcos	Um produto químico como um frasco quebrado não deveria ser o pessoal da limpeza, até porque tem um descarte também.
Alice	Mas é muito fácil acontecer isso né ((olha para Marcos))
Pesq. 2	Então como é que o Miguel pode saber disso? A função dele é limpar “opa fiz sujeira aqui” ((se coloca no lugar de Miguel)). O que ele tem que fazer? Naturalmente ele tem que limpar, mas você tá dizendo que não pode ser assim. O que que tinha que acontecer ali?
Beatriz	Ele tinha que ter sido instruído ((Pesq. 2 concorda)). Agora a gente não sabe se ele foi instruído ou se ele não ouviu que foi instruído.
Pesq. 2	Como regra geral é um procedimento geral né, essa é uma possibilidade. Não é responsabilidade desse funcionário ou é responsabilidade desse funcionário, mas ele tem que seguir um protocolo de segurança que inclui sei lá usar luva descartável, equipamento adequado, enfim o que for. De qualquer maneira ele teria que ser instruído como regra geral. Por acaso o frasco que ele quebrou tinha água? Não interessa, tem que seguir o protocolo. Ele não precisa decidir

	“oh será que eu derrubei aqui” ou seja o que foi treinado para fazer ou chamar o técnico.
--	---

Outro exemplo foi motivado pela fala de uma aluna, sugerindo que Eduardo poderia ter evitado o acidente caso tivesse utilizado um recipiente de plástico. O pesquisador problematizou essa sugestão em sala de aula:

[..] mas em relação à natureza do frasco. Vocês já trabalharam em laboratório de pesquisa? Algum de vocês fez iniciação científica? Reparou no tipo de frascos que tem no laboratório? Pensem nos laboratórios de graduação, de ensino. É usual ter frasco de plástico? ((alguns estudantes dizem não)) É, então, é razoável a gente pensar de não poder guardar no plástico né, negócio pode reagir, você tem que guardar num frasco de vidro. Isso não é uma coisa extraordinária, isso é comum e aí não teria como usar o plástico (Pesquisador 2 – *Intervenção piloto*).

A segunda questão solicitou aos estudantes para avaliarem se havia “culpados” ou não na situação descrita. As seguintes posições foram comunicadas em sala de aula na *intervenção piloto*: 1) a culpa pode estar em quem não instruiu Miguel sobre o protocolo de segurança; 2) a culpa pode ser do próprio Miguel, caso ele não tenha seguido o protocolo de segurança previamente instruído; e 3) não existem “culpados”, pois nenhum dos envolvidos teve intenção de causar o acidente. Foram compiladas, no quadro abaixo, as respostas dadas ao questionário na *intervenção disciplina HFC*:

Quadro 29 – Atribuição dos culpados e suas justificativas. *Intervenção disciplina HFC*.

Agente	Justificativa(s) para a culpa
Eduardo	<ul style="list-style-type: none"> - Não identificou no frasco a periculosidade da substância; - Não avisou aos demais membros do laboratório sobre a periculosidade da substância; - Não zelou pelo local no qual o frasco foi guardado.
Miguel	<ul style="list-style-type: none"> - Não solicitou ajuda a um químico ou técnico do laboratório sobre como proceder; - Não utilizou EPIs; - Não tomou o devido cuidado ao manipular o frasco.
Técnico do laboratório	- Não estava presente no momento em que o funcionário efetuava a limpeza.
Instituição responsável pelo laboratório	- Ineficiência na instrução de seus funcionários, ou ausência de instruções para lidar com acidentes envolvendo substâncias químicas.
[Não há culpados]	<ul style="list-style-type: none"> - O químico não teve intenção de causar o acidente; - Miguel não teve culpa por não se proteger adequadamente.

As respostas dadas nos questionários pelos estudantes da disciplina HFC revelam a importância da discussão em sala de aula, em especial, a análise conjunta das responsabilidades atribuídas e a viabilidade das medidas de precaução que deveriam ser tomadas pelos agentes envolvidos. Por exemplo, todas as justificativas indicadas para “culpar” Eduardo foram também propostas preliminarmente em sala de aula no contexto da *intervenção piloto*. Essas justificativas foram abordadas e, ao final da aula, não foram consideradas suficientes por nenhum dos estudantes para culpar Eduardo. A seguir apresentamos o trecho no qual se discutiu a medida de avisar todos os membros do laboratório sobre a periculosidade da substância:

Quadro 30 – Sequência discursiva: problematizando a medida de comunicar a periculosidade aos demais colegas de laboratório. *Intervenção piloto*.

Turno	Transcrição da fala
Igor	Eu acho que o problema é um pouco assim de comunicação entre todos os membros que compõem aquele ambiente. Por exemplo, se o Eduardo tivesse além de identificar comentado com todo mundo, comentado com o técnico responsável, comentado com os alunos, com os professores que dessem aula naquele dia, fosse informando a todos, talvez acho que poderia ter evitado uma situação dessa. Assim a gente sabe que o Miguel não pode ter mudado de lugar, se a pessoa soubesse da periculosidade daquela substância não mexeriam nela o problema talvez pudesse ser evitado a forma de comunicação não necessariamente ((inaudível))
Pesq. 2	Então você acha viável fazer isso caso a caso, ou seja, para cada coisa nova que tá entrando no laboratório que você tá produzindo lá “ah esse aqui é inflamável” aí eu vou comunicar todo mundo?
Carlos	Não tem
Igor	Mas aí eu acho que algo que você desconheça totalmente que é o caso e que você ache que isso pode vir a causar novamente acho que pode ser um caso assim.
Pesq. 2	Tá você tá colocando isso numa situação muito particular, mas outras coisas no laboratório têm risco, talvez num laboratório de síntese isso seja mais comum ((inaudível)) ou seja você ter intermediários mais ou menos desconhecidos.

Na *intervenção piloto*, após os estudantes comunicarem suas posições a respeito da segunda questão do caso hipotético, ainda houve tempo para propor uma situação mais dramática para debate: Miguel morre por conta do acidente e um processo é aberto contra Eduardo por homicídio culposo (sem intenção de matar). A seguinte sequência discursiva se refere a essa possibilidade:

Quadro 31 – Sequência discursiva: avaliando a situação no caso de Miguel morrer.

Intervenção piloto.

Turno	Transcrição da fala
Pesq. 2	Nesse caso claramente não houve intenção, tá certo? Aconteceu o fato e o Miguel morreu meio exagerado a situação e aí isso vai parar no tribunal do júri. Vocês são os jurados, o que vocês decidiriam?
Beatriz	Ele não tem culpa por ter descoberto alguma coisa ninguém foi ((inaudível)). Das milhares de coisas tóxicas que a gente tem nenhum pesquisador foi preso porque descobriu aquilo. Talvez julgado culpado por aplicar em algum lugar que não devia, mas eu não acho que ele tenha, se você pudesse ser preso por qualquer coisa que a gente pudesse achar, orgânico não vai mais existir porque todo dia você pode achar uma coisa nova. Por exemplo uma mãe tem um filho e esse filho não come bem. Ela não precisa ir presa por homicídio culposo porque ela criou aquilo, ele agiu por conta própria.
Pesq. 2	Mas tem uma diferença importante aí [Beatriz: ah sim] o composto não tem o livre arbítrio como o filho tem.
Marcos	Também não condenaria se eu fosse um júri. Ele criou uma substância mas não aplicou ela, quer dizer, guardou, poderia ter tomado mais segurança, mas ele tomou uma norma de segurança. Ele seguiu uma norma de segurança. Então nesse caso acho que não. É claro que ele deveria ter investigado os riscos mas não sei se isso ia fazer a diferença.

A situação descrita tinha por objetivo avaliar como os estudantes encaram a relação entre químicos e sua atividade de produzir novas substâncias químicas, e os possíveis danos que elas podem causar sem que haja intenção de seus criadores. Os dois estudantes argumentaram que o químico não pode ser considerado culpado por suas descobertas ou criações. Na ocasião, a discussão teve que ser interrompida devido ao tempo de aula ter ultrapassado o limite acordado. Assim, não foi possível apresentar pontos de vista problematizando a posição dos estudantes, o que teria sido importante para sua reflexão – principalmente considerando que, ao final das discussões, os estudantes pareciam menos propensos a responsabilizar Eduardo do que no início.

Independente da intenção dos químicos, a materialização de uma nova substância muda ou, no mínimo, tem o potencial de mudar o mundo material e humano. Sua materialização somente ocorre pelo conhecimento e pelas mãos de um químico. É um agente humano quem diz por que uma nova substância deve ser produzida, para que e como será utilizada e, também, após seu ciclo de vida, como ela pode (ou poderia ser) armazenada, descartada, reutilizada, etc. Em todos os momentos há agentes humanos presentes. Assim, a partir da provocação feita no caso hipotético, mais do que indicar a culpa ou não do químico no acidente descrito, o que se pretendeu foi

salientar que a síntese de uma nova substância inevitavelmente gera responsabilidade para o químico.

Verifica-se, de modo semelhante ao que ocorreu na discussão do caso hipotético anterior, a plausibilidade e relevância do caso, evidenciada pela seguinte situação descrita por um dos estudantes:

[...] sobre a limpeza lá no meu campus teve um caso agora há pouco tempo de um problema de contaminação porque no local que eles depositavam os rejeitos lá nos galões, empilharam os galões que estavam no chão só que empilharam eles porque o local onde os galões estavam era próximo a um local onde o pessoal da limpeza ficava e eles tinham acesso àquele local então eles empilharam os galões e aquilo com o peso dos galões dos rejeitos aquilo, assim também não é o local mais apropriado porque pega sol, fica quente, então aquilo contaminou. Aí chegaram um dia e tinha vazado no estacionamento tanto que chamaram uma equipe de outra cidade, isolaram o estacionamento da unidade (IGOR – *Intervenção piloto*).

A conexão estabelecida pelo aluno entre o caso hipotético e a situação real descrita por ele mostra que, embora o caso hipotético tenha contornos bem delimitados, se referindo à uma situação particular e “imaginária”, a ideia subjacente se aplica ao mundo real e é generalizável a outras situações. A fala do estudante estende o problema abordado no caso hipotético a situações vividas ou presenciadas por ele.

Nessa mesma linha, a situação descrita no caso hipotético *Sumiço de uma substância venenosa* se aproxima mais de contextos nos quais os estudantes transitam do que a situação proposta no caso *Próximo ao limite*. O caso *Sumiço de uma substância venenosa* permite tomar como referência os próprios laboratórios didáticos de Química frequentados pelos estudantes, ainda que o caso sugira que o estudante está em um laboratório de pesquisa. O caso *Próximo ao limite* toma como referência um contexto de atuação profissional, que a maioria dos estudantes não conhece por ainda estar se graduando em Química. Isso fica claro nas falas de duas alunas comparando a situação descrita pelo caso hipotético e situações observadas ou conhecidas por elas:

Fiquei pensando assim. Eu fiz ETEC, fiz técnico na ETEC e aí como na ETEC os funcionários da limpeza é para qualquer setor ali, quando era laboratório químico eles não limpavam, quem eram responsáveis pela limpeza eram os estagiários que trabalhavam lá e aí agora que eu vi essa situação aqui eu achei que isso funciona muito bem porque não precisou

então dar treinamento específico na pessoa. Eu só quis compartilhar isso agora (ALICE – *Intervenção piloto*).

Também assim as meninas da limpeza só entram nos didáticos depois que os técnicos tiram tudo, aí elas limpam as bancadas e nos de pesquisa elas limpam o chão no máximo, assim você tem uma mesa e tudo o que vai lá é um computador aí você tira e fala por favor limpa aqui. Então é isso, nas bancadas elas não põem a mão, armário não põem a mão (BEATRIZ – *Intervenção piloto*).

As falas também sugerem a importância do caso hipotético para avaliar a adequação de práticas vividas ou conhecidas pelos estudantes. O caso hipotético forneceu um parâmetro de comparação com situações reais conhecidas, e permitiu julgá-las em relação às medidas tomadas para prevenir acidentes. Portanto, discutir situações como as delineadas no caso hipotético podem sensibilizar a respeito dos riscos envolvidos em situações do dia-a-dia e, também, munir os estudantes com estratégias para evitá-los.

O compartilhamento espontâneo das vivências foi um indício de que o problema ético proposto pelo docente foi reconhecido e abordado também como um problema ético para o estudante. Em sua fala, a estudante *Alice*, aparentemente reconhece nunca haver refletido até então sobre a razão dos estagiários de Química limparem o laboratório e não outras pessoas. A discussão fez com que uma prática conhecida e encarada como rotineira, sem aparente associação com problemas éticos, passasse a ser vista de outra maneira. Como argumentamos em outros momentos, o *filosofar sobre a Química* começa com o reconhecimento e a apreensão para si dos problemas.

Em suma, a discussão do caso hipotético *Sumiço de uma substância venenosa* desenvolveu-se de um modo ligeiramente diferente do caso anterior. Isso se deveu, provavelmente, à estrutura das narrativas: o caso *Sumiço de uma substância venenosa* se encerra com a descrição de um dano concreto (narrativa fechada) e, por esse motivo, priorizou uma *análise retrospectiva*; enquanto que no caso *Próximo ao limite* o dano está no nível da possibilidade, pois há incerteza de que ele realmente ocorrerá (narrativa aberta), requerendo, assim, uma *análise prospectiva*.

Comumente, narrativas abertas são justificadas por oportunizarem situações na quais os estudantes refletem sobre o que, por que e como fazer, e, por fim, tomam uma decisão. Porém, no caso hipotético *Sumiço de uma substância venenosa*, de natureza fechada, todas essas instâncias, exceto a decisão propriamente dita, também foram tangenciadas ou comunicadas ao longo da discussão do problema

ético. Vários estudantes se colocaram no lugar do químico Eduardo para pensar como se comportariam se o evento descrito houvesse ocorrido com eles/elas. Assim, ainda que a estrutura da narrativa influencie a análise do caso hipotético, outros fatores como a *familiaridade* com a situação descrita e a forma como discussão é abordada pelo docente são importantes para engajar e colocar os estudantes no lugar dos protagonistas.

A principal dificuldade em casos como esse, semelhante ao que se observou no caso histórico, é a possibilidade de se recair numa busca simples e direta por “inocentes” e “culpados” para o evento descrito. Nas questões propostas para o caso hipotético, optou-se por utilizar o termo “culpado” entre aspas justamente para relativizá-lo. Mas, mais importante do que isso, é a postura do docente em problematizar posicionamentos dessa natureza. O objetivo é empreender, em conjunto com os estudantes, uma análise de todas as circunstâncias envolvidas, para desenvolver o raciocínio ético.

5.4.6. Compreensões após as intervenções

O questionário final ([Apêndice 6](#)), aplicado ao término das intervenções, forneceu uma base mínima para reflexões sobre os efeitos das atividades nos estudantes. Na *intervenção piloto*, seis alunos responderam ao questionário, enquanto que, na disciplina HFC, 12 alunos encaminharam suas respostas ao pesquisador.

Ao responderem sobre os riscos envolvidos na produção de uma nova substância química, na *intervenção piloto* os estudantes destacaram os seguintes: 1) *risco de danos aos seres humanos e ao ambiente*; 2) *riscos desconhecidos por ser uma substância nova*; 3) *risco em relação a como serão utilizadas*. Na disciplina HFC, apenas os dois primeiros riscos foram mencionados, tendo sido o segundo o mais frequente entre os estudantes. Os dois primeiros riscos podem ser ilustrados pelas duas passagens seguintes, extraídas dos questionários:

1) Apresentar toxicidade ao ser humano e ao meio ambiente, gerar subprodutos também nocivos à vida e a falta de conhecimento das pessoas sobre seus possíveis riscos (IGOR – *Intervenção piloto*).

1) A produção de uma nova substância química pode apresentar riscos para a saúde humana e riscos para o meio ambiente, como poluição do solo, das

águas e do ar, sendo capaz de causar contaminação à população (GIOVANA – *Intervenção disciplina HFC*).

2) Os riscos possíveis estão relacionados ao desconhecido. Produzir uma substância nova abre uma gama de informações inerentes à substância que não temos conhecimento; pode ser que o produto apresente vários riscos ao ser humano e a biodiversidade, mas também, pode haver a possibilidade de não ter riscos preponderantes (CARLOS – *Intervenção piloto*).

2) Entre os possíveis riscos estão a produção de substâncias que trazem algum tipo de malefício ao ser humano e ao meio ambiente, o desconhecimento sobre os efeitos da substância em todas as esferas (química, biológica, social) pode ser um risco (VINÍCIUS – *Intervenção disciplina HFC*).

Nos dois grupos de respostas, destacamos os riscos associados ao desconhecimento de todos os efeitos que uma nova substância pode vir a causar no mundo material e humano. A consideração desse aspecto por parte dos estudantes foi motivada pela discussão do caso histórico envolvendo a produção, comercialização e impactos dos CFCs. No questionário inicial, antes das intervenções, a ideia do desconhecimento inerente às novas substâncias químicas não foi cogitada entre os riscos apontados para a atividade química. A comunicação e compreensão dessa concepção filosófica, fundamentada nas discussões da Filosofia da Química, incorporou-se ao *filosofar sobre a Química* dos estudantes. Reconhecer os riscos e incertezas inerentes à produção e disseminação de novas substâncias químicas é um dos objetivos pretendidos pelo ensino de ética química.

No que diz respeito às medidas para minimizar os riscos inerentes às novas substâncias químicas, uma parte dos estudantes, na *intervenção piloto*, considerou ações restritas ao laboratório de química, como, por exemplo, *seguir as normas de segurança e armazenar as substâncias em um local seguro*. Certamente, a discussão do caso hipotético *Sumiço de uma substância venenosa*, minutos antes da aplicação do questionário final, influenciou a ocorrência de respostas dessa natureza. Assim como a forma na qual a questão foi elaborada, sem especificar o contexto em que as medidas se direcionavam, deu margem a esse tipo de interpretação.

Na *intervenção disciplina HFC*, os estudantes tiveram uma semana após a última aula presencial para entregar o questionário final e, talvez por isso, não ocorreram respostas semelhantes. As sugestões para minimizar os riscos envolvidos na produção de novas substâncias químicas foram as seguintes, sendo as duas primeiras as mais citadas pelos estudantes: 1) *realização de testes antes do lançamento das*

substâncias no mercado; 2) realização de testes contínuos, isto é, antes e após o lançamento da nova substância; e 3) criação de órgãos para regulamentar e fiscalizar a produção de novas substâncias. Na *intervenção piloto*, as duas primeiras medidas também foram citadas. Transcrevemos uma resposta de cada grupo de medidas para exemplificá-las:

1) Para minimizar estes riscos é necessária uma série de testes antes que a substância possa ser utilizada e/ou comercializada, porém é extremamente difícil prever todos os riscos que uma substância pode causar devido a inúmeros fatores e variáveis que existem. Tal dificuldade torna os testes ainda mais importantes, estes devem ser feitos com o maior número de possibilidades possível (NATASHA – *Intervenção disciplina HFC*).

2) A melhor forma de proceder em relação a esses danos seria, ao produzir uma nova substância, ficar atentos aos riscos que ela causa a curto prazo e, em caso de não haver algum e ela ser liberada para fabricação em larga escala, o desenvolvedor deverá continuar atento a sua criação, fazendo testes ambientais e observando se não há danos em outros âmbitos pois, dessa forma, o produto poderá ser retirado e melhorado sem que haja um grande problema relacionado a ele (MANUELA – *Intervenção disciplina HFC*).

3) Para minimizar esses riscos é necessário que exista uma comissão que regulamente a produção de novas substâncias. Essa comissão seria responsável por realizar uma grande quantidade de testes a fim de verificar o risco fornecidos por essa substância. Além disso, deveriam monitorá-la mesmo após a sua produção em grande escala (LAÍS – *Intervenção disciplina HFC*).

A realização de testes sobre os riscos de uma substância foi sugerida ao longo do desenvolvimento da narrativa histórica e na discussão das questões referentes a ela. A menção a testes contínuos, em especial, fundamenta-se no caso dos CFCs, em que os testes realizados na época de seu desenvolvimento para fins industriais revelaram sua não toxicidade a seres humanos e sua não inflamabilidade. Não se vislumbrou, na época, que os CFCs pudessem ter quaisquer efeitos sobre a camada de ozônio estratosférico, o que só se tornou consenso após décadas de sua produção em larga escala. A consequência do desconhecimento dessa propriedade persuadiu os estudantes da necessidade de realização de testes contínuos, com o intuito de evitar ou, pelo menos, minimizar possíveis efeitos danosos das novas substâncias químicas aos seres humanos e ao ambiente.

Portanto, as compreensões comunicadas permitem inferir que o caso histórico narrando a produção, usos e consequências de substâncias químicas na sociedade e

no ambiente foi persuasivo em relação aos riscos das substâncias, pois os estudantes relataram uma série de riscos e incertezas envolvidos e, também, buscaram propor medidas de médio e longo prazo para evitá-los ou minimizá-los.

Acerca da responsabilidade dos químicos em relação aos possíveis danos que suas criações possam acarretar quando são produzidas e introduzidas no ambiente, os estudantes da disciplina HFC posicionaram-se de modos diferentes: a) *a responsabilidade é condicionada pelo conhecimento das consequências deletérias, ou seja, são responsáveis apenas se as conhecem previamente*; b) *os químicos têm responsabilidade independentemente de conhecerem seus possíveis danos*; e c) *a responsabilidade dos químicos é compartilhada com outros profissionais, entidades e órgãos*. As três posições são ilustradas a seguir:

a) Os químicos nem sempre podem se responsabilizar pelos danos ambientais causados na fabricação de uma nova substância, pois às vezes esses danos ainda não são conhecidos, como no caso dos CFCs discutido em aula. Ao produzir uma nova substância química os químicos são responsáveis por realizar análises prévias como por exemplo toxicidade, inflamabilidade e possíveis contaminações ao meio ambiente, porém eles não são responsáveis se eventualmente esta apresentar algum dano desconhecido até então (GIOVANA – *Intervenção disciplina HFC*).

b) Os químicos, quando produzem uma substância nova, são responsáveis por ela durante todo o período em que ela está em testes e até quando é comercializada. Devido à quantidade de variáveis que podem trazer riscos, é necessário manter a substância sob monitoramento constante, pois mesmo após os testes podem haver riscos que não foram previstos (NATASHA – *Intervenção disciplina HFC*).

c) Sim, porém não são apenas eles que são responsáveis pelos danos causados por alguma substância. Existem órgãos públicos responsáveis por fiscalizar esses novos desenvolvimentos e cabe a eles, além dos cientistas, ficar atentos a qualquer possível dano (MANUELA – *Intervenção disciplina HFC*).

Na *intervenção piloto*, os estudantes manifestaram também a posição **a**. Além dela, foi apontada uma posição ausente na *intervenção disciplina HFC*: d) *a responsabilidade recai sobre os químicos apenas se há controle direto, ou seja, químicos não podem ser responsabilizados pelo uso dado por terceiros*. O trecho abaixo representa essa posição:

d) Qualquer criação é de responsabilidade de seu criador enquanto se encontra em sua posse. Não há como controlar o que terceiros farão quando a tiverem em mãos, todo ser humano tem seu livre arbítrio. A partir do

momento em que uma substância é catalogada e divulgada, ela não é mais propriedade de seu produtor (BEATRIZ – *Intervenção piloto*).

Observa-se, portanto, uma diversidade de posições dos estudantes frente às responsabilidades que os químicos têm em relação aos possíveis danos que suas criações possam acarretar quando introduzidas na Natureza. Dentre elas, a posição d) é a mais preocupante, pois parece ser uma derivação da compreensão segundo a qual os cientistas e químicos não podem se responsabilizar pelas aplicações ou usos dados por terceiros a suas criações científico-tecnológicas. Os estudantes apontaram, no questionário prévio, que a aplicação ou uso das criações científico-tecnológicas é um problema da ética na Ciência. Sendo assim, qual o papel dos cientistas diante desse problema ético? De fato, como argumentado pela estudante *Beatriz*, o químico não tem poder sobre o livre arbítrio de outro ser humano. Entretanto, é sua *responsabilidade* buscar compreender o que foi produzido, suas propriedades, riscos, incertezas e, talvez, possíveis empregos que possam ser dados à nova substância. Isso deve ser divulgado não apenas para a comunidade científica, mas, também, para a sociedade como um todo. Ainda que problemas éticos não se resolvam apenas com “mais conhecimento”, esse é um elemento fundamental nas decisões éticas.

No que concerne à produção de novas substâncias químicas no nível do laboratório, isto é, sem que elas sejam comercializadas e produzidas em larga escala, os estudantes argumentaram em prol da responsabilidade individual do químico. Na *intervenção disciplina HFC*, diferentes justificativas foram apresentadas pelos estudantes: 1) *o químico escolheu sintetizar a substância*; 2) *somente tal profissional pode produzir uma nova substância química devido ao seu conhecimento especializado*; 3) *o químico assumiu os possíveis riscos envolvidos e deve proceder para minimizá-los ou evitá-los*; e 4) *o químico tornou possível a reprodução da síntese por outras pessoas*. Na *intervenção piloto*, apenas um estudante apresentou justificativa para a responsabilidade individual dos químicos, sendo seu argumento uma combinação das justificativas 2) e 4).

Se a responsabilidade do químico pelas criações que não estão diretamente sob seu controle seja de difícil avaliação, por envolver diferentes instituições e agentes, sua responsabilidade individual é mais tangível. Todas as justificativas dadas pelos estudantes para atribuir responsabilidade aos químicos são complementares entre si. Essas justificativas foram abordadas brevemente na primeira aula de Filosofia da

Química & Ética Química e, principalmente, na discussão do caso hipotético *Sumiço de uma substância venenosa*.

Aos estudantes que participaram da pesquisa solicitou-se um autoavaliação de suas compreensões ao final da intervenção sobre ética química. De maneira geral, todos os estudantes relataram mudanças em suas compreensões iniciais, sendo mencionados os seguintes aspectos: a) *reconhecimento da complexidade em torno de um problema ético*; b) *reconhecimento ou ampliação da compreensão dos problemas éticos advindos da síntese de novas substâncias químicas*; c) *ampliação da abrangência da ética na Ciência*; d) *melhora da compreensão sobre as consequências da atividade química*. A seguir, cada um desses aspectos é exemplificado por um trecho da autoavaliação dos estudantes:

a) Modificaram à medida em que, ao colocar-me em situações onde a ética é exposta como algo que, se adotada traz prejuízos a quem assumiu tal conduta, e se não adotada pode trazer riscos ainda maiores, fez-me refletir sobre as atitudes e os valores morais, além da ética, na tomada de decisões, com qual cada situação particular está envolvida. Confrontar ideias que parecem todas certas faz com que haja a reflexão sobre os fatores que fazem com que uma decisão seja tomada, além de fatores éticos, o que é pertinente quando se está em um mundo feito por decisões (VINÍCIUS – *Intervenção disciplina HFC*).

b) [...] não penso mais na ética da química apenas como o cientista que sintetiza substâncias sem pensar em suas causas, mas de que ao produzirem essas substâncias novas, ele deve pensar nos benefícios e malefícios que podem ser causados para a sociedade e para o ambiente (RAFAEL – *Intervenção disciplina HFC*).

c) A minha compreensão sobre ética na Química foi ampliada, porque com o minicurso a ética foi muito além de não adotar uma má conduta científica; esta, por outro lado, está sempre presente na vida do profissional químico, seja em uma análise até a produção de uma nova substância (ALICE – *Intervenção piloto*).

d) Me ensinaram a pensar melhor antes de chegar a alguma conclusão quando um acidente ocorre e, principalmente, a tomar mais cuidado com possíveis resultados do trabalho de um químico. Não temos controle sobre os outros, mas podemos sempre usar nosso conhecimento para tentar diminuir os riscos (BEATRIZ – *Intervenção piloto*).

As compreensões modificadas ou ampliadas, relatadas pelos estudantes, estão de acordo com o que se planejou, ao menos em parte, em termos de reflexões sobre a ética química. Em particular, destaca-se a centralidade da síntese de novas substâncias e materiais como uma das principais atividades da Química, comumente

desconsiderada pelos próprios químicos. Observou-se que os estudantes começaram a reconhecer sua importância e, principalmente, suas implicações para a sociedade e o ambiente.

Além da autoavaliação, os estudantes também puderam avaliar as aulas de ética química, e apontar pontos positivos e negativos, bem como sugerir mudanças. A condução das aulas e discussões recebeu as seguintes considerações, cada uma delas dita por um estudante diferente: *empregou uma linguagem inteligível, deixando os estudantes confortáveis para participar da aula; prezou pela construção coletiva mais do que pela transmissão de conteúdo; considerou os diferentes pontos de vista; fomentou a curiosidade e a postura de criticidade de tudo o que era abordado; desenvolveu não apenas conteúdos conceituais, mas, também, atitudinais; e utilizou diferentes materiais (textos, imagens e vídeos)*. Alguns estudantes reconheceram a importância de tais discussões em suas formações, para entender os impactos que a Química gera na sociedade.

Era crucial para as aulas instaurar um ambiente no qual os estudantes não sentissem receio de se manifestar em público, pois a discussão de problemas éticos é enriquecida conforme aumenta o número de opiniões e interesses em jogo. As considerações dos estudantes revelam que esse ambiente foi contemplado. Em sala de aula, procurou-se incentivar as falas dos estudantes, bem como considerar e integrar cada uma delas na discussão realizada. Essa é uma das diretrizes para o *ensinar Filosofia da Química* proposto por esta tese, a qual considera legítimo o modo de apreensão, a linguagem e as ideias dos estudantes.

No que concerne às atividades implementadas em sala de aula, elas foram consideradas *relevantes, fecundas e adequadas*. Dentre as atividades citadas, os casos hipotéticos foram os mais destacados pelos estudantes, pelo fato de possibilitarem: *a reflexão sobre questões relacionadas à atividade profissional; descrever situações nas quais eles próprios podem se colocar no lugar dos personagens; e ponderar sobre as diferentes decisões éticas*.

A avaliação positiva em relação aos casos hipotéticos é reforçada pelas observações feitas em sala de aula. Essa aula contou com maior participação dos estudantes em comparação com as demais aulas. A abordagem dos casos hipotéticos mobilizou os estudantes para a discussão dos problemas éticos. Dentre os motivos alegados, provavelmente a familiaridade ou proximidade das situações descritas pelos casos hipotéticos promoveu empatia entre os estudantes.

Sugestões também foram feitas pelos estudantes. Na *intervenção piloto*, recomendou-se o acréscimo de mais casos históricos, conhecidos e desconhecidos, e também casos que envolvessem “trapaças” na Química (ou seja, casos de má conduta científica). Na *intervenção disciplina HFC*, uma aluna argumentou que os casos hipotéticos deveriam incentivar mais a empatia dos estudantes em relação aos personagens descritos.

As críticas elaboradas pelos estudantes são pertinentes. Como dito no Capítulo 4, outros casos históricos estão disponíveis na literatura para a promoção de discussões éticas. Porém, devido ao pouco tempo disponível em sala de aula, optou-se por diversificar as abordagens, para avaliar as potencialidades e limites de cada uma delas. Sobre a crítica a respeito da promoção de mais empatia nos casos hipotéticos, esse aspecto pode ser aperfeiçoado no desenvolvimento da discussão, reforçando a orientação para que os estudantes analisem a situação se colocando na posição dos protagonistas dos casos.

Apenas os estudantes da disciplina HFC apontaram problemas em relação às aulas de ética química, sendo que a principal queixa repousou sobre o pouco tempo disponível e o momento no qual a intervenção ocorreu, a saber, no fim do semestre. Para um dos estudantes, o número reduzido de aulas tornou as atividades mais “objetivas”. O fato de estarem no final do semestre, acumulando provas e trabalhos de diferentes disciplinas, foi apontado como prejudicial à participação plena em todas as atividades. Identificou-se, também uma crítica pontual ao número de questionários encaminhados toda semana aos estudantes, o que seria “um pouco cansativo”, ainda que as discussões realizadas em sala de aula sobre os questionários fossem “interessantes e produtivas”.

A escolha por realizar a intervenção no fim do semestre da disciplina HFC baseou-se em um critério epistemológico, de promover a ética química como um tópico da Filosofia da Química após as discussões mais amplas da Filosofia da Ciência, habitualmente realizadas naquela disciplina. Não foram considerados aspectos de outra natureza, como a demanda das demais disciplinas cursadas pelos estudantes. Esse problema se refletiu na menor participação em atividades extraclasse, em particular, na entrega das respostas às questões do caso hipotético *Sumiço de uma substância venosa* e do questionário “Avaliação sobre ética química”. De qualquer modo, a menor participação não influenciou significativamente a obtenção dos resultados da pesquisa.

O tempo restrito disponível em sala de aula influenciou a condução das discussões, como percebido por alguns estudantes. Alguns tópicos e questões foram abordados rapidamente ou mesmo ignorados, principalmente os que haviam sido planejados para o final da aula. O gerenciamento do tempo de aula é uma preocupação constante para o professor. Entre planejar e executar o planejamento há uma grande diferença, devido à dinâmica da sala de aula, em que uma determinada discussão pode tomar mais tempo que o previsto, ou não produzir respostas por parte dos estudantes, ou, ainda, questões, temas e ideias não imaginados pelo professor se manifestarem em sala de aula e merecerem aprofundamento por sua relevância. No caso da temática abordada nas intervenções, o intuito era justamente explorá-la o máximo possível.

A partir de tais resultados, é importante esclarecer os limites das aulas sobre ética química na mudança comportamental dos estudantes, isto é, em suas aprendizagens. As compreensões comunicadas após as intervenções *sugerem* mudanças e ampliação das compreensões iniciais dos estudantes. As intervenções foram iniciativas pontuais, com poucas horas de duração. As inferências de mudança se sustentam nas análises das aulas e nos questionários aplicados logo em seguida ou com poucos dias após o término das aulas. Sendo assim, somente uma análise a médio e longo prazo pode avaliar a consolidação de tais ideias entre os estudantes.

5.5. *Ensino de ética química: contribuições, dificuldades e limites*

Tendo apresentado e discutido os resultados das duas intervenções voltadas a promover o ensino de ética química, sumarizamos agora as respostas às questões que orientaram esta pesquisa: 1) *Como promover discussões sobre a ética química na formação de futuros profissionais de Química?* 2) *Quais as potencialidades, limites e dificuldades das abordagens adotadas para essa finalidade?* 3) *Qual a contribuição da ética química para o desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo dos estudantes sobre a Química?*

O ensino sobre a ética química pode ser fundamentado no trânsito entre o *ensinar a Filosofia da Química* e o *filosofar sobre a Química*. O primeiro centra-se no docente, na medida em que ele seleciona questões, temas e ideias do campo da Filosofia da Química para promover discussões sobre a ética química. A seleção deve se orientar pela pluralidade de perspectivas. O docente deve reconhecer a existência de

concepções prévias dos estudantes sobre a temática, pois é a partir delas que os estudantes estruturarão novas compreensões. O docente deve, ainda, instaurar ambientes de ensino-aprendizagem que priorizem o diálogo. Para isso, as ideias dos estudantes, independentemente de sua forma e conteúdo, devem ser consideradas legítimas. É papel do docente colocar em debate os méritos e deficiências dessas ideias, bem como integrá-las à discussão mais ampla. As discussões devem priorizar o pensamento divergente, para o qual posições contrárias devem ser incentivadas.

O *filosofar sobre a Química*, por sua vez, confere protagonismo ao estudante, para que este construa suas compreensões sobre a Química. Não se pretende que o estudante trilhe o mesmo caminho do docente. Porém, espera-se que ele/ela conceba suas compreensões de maneira crítica e reflexiva, justificando seus pontos de vista, reconhecendo as forças e fraquezas dos argumentos comunicados. Esse processo é mediado pelo docente ao longo das discussões sobre a ética química.

A ética química pode ser articulada e promovida pelo emprego de diferentes abordagens, visto que cada uma delas apresenta benefícios, dificuldades e limites particulares. Dentre elas, destacam-se: a *abordagem filosófica*, fundamentada na própria Filosofia da Química; a *abordagem histórica*, fomentada por estudos de caso históricos concebidos pela História da Química; e a *abordagem contemporânea*, por meio de casos hipotéticos inspirados na atividade química e profissional dos dias atuais.

A abordagem filosófica configura-se, em especial, a partir das questões e respostas fornecidas pelo campo da Filosofia da Química para o tema da ética química. No âmbito da sala de aula, essa abordagem pode envolver a apresentação gradativa de questões para promover a discussão com os estudantes. As seguintes questões podem estruturar o ensino de acordo com essa abordagem: *Os químicos podem enfrentar questões éticas próprias, diferentes das enfrentadas por outros cientistas (por exemplo, físicos e biólogos)? Como a síntese de novas substâncias resulta em problemas éticos aos químicos?* Essas questões permitem identificar as ideias dos estudantes sobre esses aspectos e, também, contribuem para que eles/elas possam desenvolver o *filosofar sobre a Química*. O reconhecimento e apropriação de problemas filosóficos para si constituem elementos necessários para isso. Após a discussão de cada questão, o docente comunica as perspectivas que os filósofos da Química têm desenvolvido sobre o assunto debatido.

A principal dificuldade da abordagem filosófica reside em comunicar questões *abstratas*, isto é, sem a delimitação de um contexto no qual os estudantes possam tecer suas considerações. Os estudantes podem se mostrar, num primeiro momento, hesitantes com as questões, ou comunicar compreensões distantes do que se espera com as questões. Por conta disso, a interação entre docente e classe torna-se importante para orientar os estudantes ao sentido pretendido. Ao longo da interação, o docente deve comunicar novas questões ou ideias aos estudantes, de maneira que suas próximas falas possam se aproximar do objetivo pretendido.

A abordagem histórica para a ética química pode ser realizada por meio de uma narrativa a respeito da obtenção, comercialização e consequências sociais e ambientais das substâncias químicas, acompanhadas por questões – propostas ao longo da narrativa ou ao final dela – para os estudantes refletirem sobre o tema. Essa abordagem possibilita que os estudantes reconheçam os riscos e incertezas inerentes à produção e disseminação de novas substâncias químicas, tendo como evidências situações já vividas por químicos. Tal reconhecimento pode resultar, ainda, em uma postura de cautela em relação às inovações produzidas pelos químicos.

A principal dificuldade da abordagem histórica repousa na apreensão das informações e interpretação do caso histórico, que influenciam a análise do problema ético em questão. Estudantes podem selecionar apenas parte das informações disponíveis para empreender suas avaliações ou, ainda, interpretar o problema ético de acordo com o que se conhece atualmente sobre o assunto, simplificando a análise do problema ético. É necessária a leitura prévia do caso histórico, o planejamento da aula com destaque para os eventos cruciais para se compreender o problema ético, e a interação entre o docente e os estudantes ao longo da aula para acrescentar ou corrigir informações históricas, bem como esclarecer as interpretações dos estudantes.

A abordagem contemporânea por meio de casos hipotéticos permite que os estudantes se coloquem no lugar dos protagonistas, avaliem o que está em jogo e tomem decisões para solucionar o problema ético. Aspectos específicos dependem dos conteúdos, questões e objetivos concebidos para o caso. Portanto, casos hipotéticos são flexíveis, na medida em que seu planejamento permite cobrir uma ampla gama de diferentes problemas éticos. Por exemplo, o caso hipotético *Próximo ao limite* possibilitou aos estudantes reconhecerem a complexidade de um problema ético, em que diferentes decisões podem ser tomadas, cada qual com diferentes

consequências para si, para os outros e para o ambiente. Por sua vez, o caso hipotético *Sumiço de uma substância venenosa* proporcionou o entendimento das responsabilidades individuais do químico a respeito de suas criações, e também de parâmetros para avaliar práticas de segurança conhecidas ou vivenciadas pelos estudantes.

Nas intervenções realizadas, a fecundidade das discussões foi proporcional ao número de participantes, principalmente em termos da comunicação de diferentes posições em sala de aula. A tensão entre as posições estimula os estudantes a se manifestarem e a explicarem em detalhes seus pontos de vista. É papel do docente avaliar as ideias comunicadas pelos estudantes, apontando eventuais fraquezas, pontos fortes e limites, bem como estimular e apresentar perspectivas e cenários mais complexos em relação aos comunicados pelos estudantes.

Ainda que em menor grau, o caso hipotético apresenta o mesmo problema do caso histórico, referente à apreensão das informações disponibilizadas no texto. A desconsideração de informações fornecidas pode resultar em uma análise simplista do problema ético. A condução das discussões também é uma tarefa difícil, diante da diversidade de possibilidades comunicadas pelos estudantes. O acirramento de ânimos quando perspectivas contrárias são defendidas pelos estudantes pode fazer com que muitas vozes se manifestem simultaneamente, tornando difícil gerenciar a avaliação de todas as posições.

Apesar da fecundidade de se produzir casos hipotéticos com diferentes propósitos, a delimitação de um contexto específico inevitavelmente circunscreve as considerações ao âmbito escolhido. Além disso, uma visão panorâmica dos efeitos locais e globais das novas substâncias químicas dificilmente pode ser contemplada por essa abordagem.

Finalmente, destacam-se as contribuições do ensino de ética química para o desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo dos estudantes sobre a Química. Considerando a crítica como uma postura de não aceitação, e não conformação com o que nos rodeia e nos afeta, a ética química visa contemplar isso problematizando a produção e disseminação de novas substâncias químicas, em especial, seus riscos e incertezas. A produção de novas substâncias e materiais é abordada, em geral, apenas em termos de seus benefícios, desconsiderando suas possíveis consequências negativas aos seres humanos e ao ambiente. Antes das intervenções, os estudantes não cogitavam os problemas éticos em torno da produção de novas

substâncias químicas; porém, ao final das intervenções, os estudantes começaram a reconhecer tais problemas.

A reflexão, por sua vez, consiste no emprego de teorias, perspectivas e ideias para analisar aquilo que nos rodeia e nos afeta. No âmbito da ética química, a reflexão se fundamenta em campos como a Filosofia da Química e a História da Química. Esses campos do conhecimento fornecem temas, questões, perspectivas, ideias e contextos para avaliar a produção e disseminação de novas substâncias químicas. Após as intervenções, os estudantes se apropriaram de teses filosóficas como o *desconhecimento* inerente à produção de novas substâncias químicas para justificar os riscos e incertezas decorrentes da síntese de novas substâncias, e também exemplificaram tais consequências por meio do caso histórico discutido em sala de aula. Os estudantes reconheceram, ainda, as insuficiências das medidas tomadas no passado, e sugeriram novas medidas para minimizar os riscos das novas substâncias.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A História da Ciência, a Filosofia da Ciência e a Sociologia da Ciência são metaciências que investigam e proporcionam reflexões sobre a Ciência. Cada uma delas possui referenciais, enfoques, metodologias e objetivos próprios, o que resulta em considerações complementares entre si, mas, também, em perspectivas antagônicas e em divergências a respeito do que é a Ciência e como ela funciona.

Nas últimas décadas, a Educação em Ciências se apropriou progressivamente das contribuições de tais campos para, dentre outros objetivos, promover melhores compreensões sobre a Ciência entre estudantes de ciências de todos os níveis de ensino. Uma das preocupações dos educadores residiu na elaboração de critérios sobre o que selecionar e como articular os aspectos selecionados, tendo em vista não o objetivo de formar especialistas nos campos metacientíficos, mas formar cidadãos críticos e reflexivos.

As discussões voltadas a esse objetivo se consolidaram em uma linha de pesquisa própria, chamada *Natureza da Ciência*, a partir de aproximações entre a História e Filosofia da Ciência e a Educação em Ciências. Diferentes abordagens para a Natureza da Ciência no ensino foram propostas nas últimas décadas. Uma em especial repercutiu em países anglo-saxões e teve influência também no Brasil: a *abordagem* ou *visão consensual* sobre a Natureza da Ciência. Essa abordagem se caracterizou por selecionar as ideias consideradas consensuais sobre a Ciência, ignorando as controvérsias existentes nas metaciências, sob a justificativa de que elas seriam inacessíveis e irrelevantes para a formação de cidadãos críticos e reflexivos no âmbito do ensino básico. As compreensões consensuais sobre a Ciência são veiculadas, em geral, na forma de listas, nas quais cada tópico enuncia um aspecto da Ciência. Os tópicos seriam aplicáveis às diferentes disciplinas científicas, ou seja, são generalistas.

Diferentes críticas foram dirigidas à abordagem consensual nos últimos anos. Para nós, um primeiro problema se refere a seu afastamento das metaciências de referência, a ponto do constructo Natureza da Ciência figurar como *autossuficiente*. Não se nega que os objetivos dos especialistas nos campos metacientíficos sejam diferentes dos propósitos da Natureza da Ciência no ensino. Porém, esse constructo não deve perder de vista as metaciências, que constituem a referência para

fundamentá-lo, alimentá-lo e orientá-lo, ainda que outras perspectivas (especialmente do campo da Educação) devam ser integradas para constituir o ensino da Natureza da Ciência.

Um segundo ponto se refere à visão de ciência transmitida, caracterizando os aspectos que seriam comuns às diferentes disciplinas científicas, desconsiderando as particularidades e riquezas de cada uma delas. Se no nível básico isso pode ser, até certo ponto, adequado, no âmbito do Ensino Superior essa abordagem pode limitar o entendimento do profissional sobre o próprio campo científico em que irá atuar. No caso de futuros professores, sua formação irá exercer influência sobre como comunicam e ensinam sua Ciência.

Em vista disso, esta tese desenvolveu uma proposta para a nossa disciplina de interesse, a Química, cuja denominação é *ensinar a Filosofia da Química* e o *filosofar sobre a Química*. O primeiro aspecto reconhece e incorpora as contribuições da metaciência específica, a Filosofia da Química, como fonte de questões, temas, perspectivas e ideias sobre a Química que munirão o docente interessado em promover discussões sobre a Química. Por sua vez, o *filosofar sobre a Química* centra sua atenção no estudante e confere autonomia para que ele construa suas compreensões. O que se pretende com essa proposta é o desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo sobre a Química.

Diante da diversidade de temas discutidos na Filosofia da Química, optou-se por explorar a *ética química*, que tem sido defendida por filósofos e educadores como elemento crucial para a formação em Química. Além disso, em nossa perspectiva, tal tema é *transversal*, isto é, se relaciona com outros temas discutidos pela Filosofia da Química. A ética química promove a Filosofia da Química, na medida em que é necessário compreender o que é próprio da atividade química para justificar uma ética própria, e constitui uma perspectiva complementar aos aspectos ontológicos e epistemológicos da ciência. A ética química também confere sentido à crítica e a reflexão sobre a Química, pois visa transformar as formas de pensar e agir entre os químicos.

O planejamento e a implementação de uma proposta didática para promover a ética química entre estudantes de Química do Ensino Superior estruturou-se em três abordagens: *filosófica*; *histórica* e *contemporânea*. A partir de cada uma delas discutiu-se as implicações éticas da síntese química, focalizando: seus fundamentos epistemológicos de acordo com a Filosofia da Química; os riscos e incertezas

atrelados à produção e disseminação de novas substâncias químicas, subsidiados pela História da Química; e a avaliação de problemas éticos da atividade química por meio de casos hipotéticos.

Os resultados das intervenções revelam os vieses de cada abordagem, sendo que cada uma delas privilegia um grupo de compreensões sobre a ética química. De maneira semelhante, as dificuldades em torno do seu ensino são particulares a cada abordagem. Por esse motivo, o ensino de ética química deve integrar, se possível, as diversas abordagens.

Dentre os resultados obtidos, destaca-se o reconhecimento, por parte dos estudantes, da produção de novas substâncias como característica marcante da atividade química, bem como a preocupação dos estudantes com os riscos e incertezas associados à síntese química. No início da intervenção, um dos problemas éticos apontados pelos estudantes foi o mau uso ou aplicação dos conhecimentos científico-tecnológicos. Essa é uma compreensão de domínio geral, ou seja, o modo pelo qual foi enunciada é aplicável a qualquer disciplina científica. Após a intervenção, essa compreensão foi especificada no contexto da Química, utilizando entes químicos – em particular, as substâncias químicas – para avaliar os problemas éticos relacionados a sua produção e disseminação na sociedade e no ambiente. Isso revela a importância de orientar o ensino por compreensões gerais sobre a ciência, mas sem deixar de contextualizá-las em busca do aprofundamento das compreensões relativas à especificidade de cada disciplina científica.

A proposta fundamentada no *ensinar a Filosofia da Química e o filosofar sobre a Química* por meio da ética química buscou superar parte dos problemas relacionados às abordagens fechadas para a Natureza da Ciência, como as exemplificadas pela visão consensual. Nem por isso, porém, ela está isenta de críticas. Por exemplo, os critérios para a seleção de outros temas oriundos da Filosofia da Química, bem como quais questões, perspectivas e ideias podem ser contempladas em cada tema, ainda aguardam por serem definidos. A ênfase na Filosofia da Química pode sugerir uma não pretendida maior importância ou preponderância desse campo, ainda que as intervenções tenham sido planejadas e articuladas com outros campos metacientíficos.

Mais importantes são as implicações da proposta para o Ensino Básico, visto que nosso foco recaiu sobre o Ensino Superior e, em especial, sobre a formação dos futuros profissionais de Química (bacharéis e licenciados). A tese elaborou

considerações sobre como ensinar a ética química visando um público em processo de se especializar em uma disciplina científica. No Ensino Básico, o intuito é formar cidadãos críticos e reflexivos. Tendo em vista que o público e a finalidade são distintos dos abordados nesta tese, novas pesquisas devem ser realizadas.

A linha de pesquisa em Ciência, Tecnologia & Sociedade (CTS) na Educação em Ciências tem fornecido aos educadores, nas últimas décadas, fundamentos e abordagens para propiciar a reflexão crítica sobre a ciência (Santos, 2011; Santos & Mortimer, 2002), incluindo aspectos éticos. Em geral, a Química é vista pela população como “vilã”, responsável por problemas ambientais e riscos à saúde. Muitas vezes, os químicos tentam melhorar sua imagem recorrendo à posição diametralmente oposta, na qual a Química teria a oferecer unicamente benefícios à sociedade. Uma tal dicotomia deve ser problematizada por meio de uma visão crítica sobre a Química, na qual os benefícios devem ser considerados, assim como os riscos e desigualdades produzidos pelo desenvolvimento dessa ciência. A abordagem CTS propõe o ensino contextual, no qual o estudante possa avaliar e se posicionar frente aos problemas sociais.

Assim, esta tese pode contribuir com o ensino CTS no sentido fornecer fundamentos epistemológicos sobre a atividade química tematizando a síntese de novas substâncias: as razões que levam os químicos a produzirem novas substâncias; quais os condicionantes para um tipo de substância ser produzido em detrimento de outro; quais os benefícios, riscos e incertezas associados à síntese química, para a sociedade e para o ambiente.

As intervenções contemplaram apenas uma parte das discussões sobre a ética química, não abrangendo aspectos da ética científica mais ampla. O Capítulo 4, sobre ética química, fornece subsídios para se abordar outros assuntos além dos discutidos nas intervenções realizadas. A ética científica merece maior atenção, devido à grande incidência de más condutas científicas e profissionais que estão sendo divulgadas nos últimos anos. O livro de Kovac (2004) apresenta uma diversidade de casos hipotéticos dessa natureza, que podem ser traduzidos e adaptados para promover tais discussões entre estudantes brasileiros. A *Revista FAPESP*, voltada à divulgação científica, apresenta uma seção intitulada “Boas práticas científicas”, na qual são relatados casos reais de más condutas e iniciativas que têm sido implementadas para combatê-las. Esses relatos podem servir tanto como inspiração para a elaboração de casos hipotéticos como para ilustrar a quebra do código de ética dos cientistas.

Há, ainda, a necessidade de se compor um rol maior de estudos de caso históricos para se discutir a ética química. O caso histórico utilizado em nossas intervenções permitiu não apenas discutir as implicações da síntese química, mas, também, a influência de interesses diversos na pesquisa científica, oferecendo, assim, um contraponto à difundida ideia de *neutralidade científica*. Outros casos históricos poderão identificar diferentes impactos da produção de novas substâncias químicas na sociedade e no ambiente.

Seguindo essa linha de raciocínio, torna-se necessária também a produção de mais casos hipotéticos sobre a atividade profissional dos químicos. No capítulo sobre ética química foram apresentadas algumas sugestões a respeito de como isso pode ser feito. Reunir uma diversidade de casos hipotéticos, cada qual abrangendo um contexto, conteúdo e objetivo específicos, abre a possibilidade do docente selecioná-los de acordo com o interesse e a necessidade de seus estudantes, considerando ainda o tempo didático disponível para as discussões sobre ética química.

As contribuições desta tese não se restringem à Educação Química, estendendo-se, também, para a disciplina de Filosofia da Química. O conjunto de compreensões comunicadas pelos estudantes de Química nas intervenções pode ser integrado em análises filosóficas sobre a ética química. Ainda que produzidas por um pequeno grupo de estudantes, limitando possíveis generalizações, suas compreensões podem ser representativas do que pensam os estudantes de Química e, talvez, também os químicos formados. Independentemente de sua abrangência, as compreensões identificadas fornecem bases empíricas para se filosofar sobre a ética química.

Relações também podem ser estabelecidas entre a ética química e a *bioética*, que trata dos problemas éticos próprios das ciências da vida e da saúde. Esse é um campo de estudos bem estabelecido em termos de comunidade, congressos e publicações. Dado que a ética química ainda se estrutura como campo de estudos, vislumbra-se como possibilidade uma pesquisa de cunho filosófico para traçar paralelos e diferenças entre as temáticas da bioética e da ética química. O intuito seria enriquecer o entendimento dos problemas éticos da atividade científica e, em especial, contribuir para aprimorar os estudos sobre ética química.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd-El-Khalick, F. (2012a). 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(3), 353–374.
- Abd-El-Khalick, F. (2012b). Nature of Science in Science Education: toward a coherent framework for synergistic research and development. In B. J. Fraser, K. G. Tobin, & C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 1041–1060). Dordrecht-Heidelberg-London-New York: Springer.
- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665–701.
- Abd-El-Khalick, F., Waters, M., & Le, A. (2008). Representations of nature of science in high School chemistry textbooks over the past four decades. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(7), 835–855.
- Abimbola, I. O. (1983). The relevance of the “new” philosophy of science for the science curriculum. *School Science and Mathematics*, 83(3), 181–193.
- Acevedo-Díaz, J. A. (2009). Enfoques explícitos versus implícitos en la Enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 6(3), 355–386.
- Acevedo-Díaz, J. A., Vázquez-Alonso, Á., Paixão, M. F., Acevedo-Romero, P., Oliva, J. M., & Manassero-Mas, M. A. (2005). Mitos da Didática das Ciências acerca dos Motivos para incluir a Natureza da Ciência no Ensino das Ciências. *Ciência & Educação*, 11(1), 1–15.
- Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M., & Estany, A. (2002). Una propuesta para estructurar la Enseñanza de la Filosofía de la Ciencia para el profesorado de Ciencias en formación. *Enseñanza de Las Ciencias*, 20(3), 465–476.
- Aguiar Jr., O. (2001). Mudanças conceituais (ou cognitivas) na educação em ciências: revisão crítica e novas direções para a pesquisa. *ENSAIO – Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 3(1), 1–25.
- Aikenhead, G. S., & Ryan, A. G. (1992). The Development of a New Instrument: “Views on Science-Technology-Society” (VOSTS). *Science Education*, 76(5), 477–491.
- Akerson, V. L., & Hanuscin, D. L. (2007). Teaching Nature of Science through Inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(5), 653–680.
- Alfonso-Goldfarb, A. M. (1994). *O que é história da ciência*. São Paulo: Brasiliense.
- Alfonso-Goldfarb, A. M., & Beltran, M. H. R. (Eds.). (2004). *Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*. São Paulo: Editora Livraria da Física/EDUC/FAPESP.

- Alfonso-Goldfarb, A. M., Ferraz, M. H. M., & Beltran, M. H. (2004). A historiografia contemporânea e as ciências da matéria: uma longa rota cheia de percalços. In A. M. Alfonso-Goldfarb & M. H. R. Beltran (Eds.), *Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas* (pp. 49–73). São Paulo: EDUC/Livraria da Física/FAPESP.
- Allchin, D. (2003). Lawson's Shoehorn, or Should the Philosophy of Science Be Rated "X"? *Science & Education*, 12(3), 315–329.
- Allchin, D. (2004a). Pseudohistory and Pseudoscience. *Science & Education*, 13(3), 179–195.
- Allchin, D. (2004b). Should the Sociology of Science be rated X? *Science Education*, 88(6), 934–946.
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95(3), 518–542.
- Allchin, D. (2012). Toward clarity on Whole Science and KNOWS. *Science Education*, 96(4), 693–700.
- Allchin, D., Andersen, H. M., & Nielsen, K. (2014). Complementary Approaches to Teaching Nature of Science: Integrating Student Inquiry, Historical Cases, and Contemporary Cases in Classroom Practice. *Science Education*, 98(3), 461–486.
- Almeida, A. V., & Farias, C. R. O. (2011). A Natureza da Ciência na Formação de Professores: reflexões a partir de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 16(3), 473–488.
- Alters, B. J. (1997a). Nature of science: A diversity or uniformity of ideas? *Journal of Research in Science Teaching*, 34(10), 1105–1108.
- Alters, B. J. (1997b). Whose nature of science? *Journal of Research in Science Teaching*, 34(1), 39–55.
- Alves, A. J. L. (2003). O PCN e o ensino de Filosofia. *Educação E Filosofia*, 17(34), 101–115.
- Alves, K. S. G. (2010). *A Didática das Ciências como Disciplina Acadêmica: uma proposta de desenho estrutural para a formação de professores de Ciências*. Dissertação de Mestrado Profissional, Escola Normal Superior, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus.
- Alves, M. A. (2013). Desafios e potencialidades: o ensino de Filosofia no cenário da educação básica brasileira. *Revista Sul-Americana de Filosofia E Educação*, (21), 157–169.
- Alvim, M. H., & Zanotelo, M. (2014). História das ciências e educação científica em uma perspectiva discursiva: contribuições para a formação cidadã e reflexiva. *Revista Brasileira de História Da Ciência*, 7(2), 349–359.
- Andrade, N. L. (1996). Conant e a assimilação da ciência à cultura geral. *Caderno*

Catarinense de Ensino de Física, 13(1), 64–70.

- Ariza, R. P., & Harres, J. B. S. (2002). A epistemologia evolucionista de Stephen Toulmin e o Ensino de Ciências. *Cadernos Catarinense de Ensino de Física*, 19(número especial), 67–80.
- Bachelard, G. (2008). *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro: Contraponto.
- Bachelard, G. (2009). *O pluralismo coerente da química moderna*. Rio de Janeiro: Contraponto.
- Bagdonas, A. (2015). *Controvérsias envolvendo a Natureza da Ciência em sequências didáticas sobre cosmologia*. Tese (Doutorado) - Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Baird, D., Scerri, E., & McIntyre, L. (Eds.). (2006). *Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline*. Dordrecht: Springer.
- Baldinato, J. O., & Porto, P. A. (2015). 20 Anos de QNEsc: Uma História, Muitas Histórias. *Química Nova Na Escola*, 37(Nº Especial 2), 166–171.
- Bastos Filho, J. B. (2012). Qual História e qual Filosofia da Ciência são capazes de melhorar o Ensino de Física? In L. O. Q. Peduzzi, A. F. P. Martins, & J. M. H. Ferreira (Eds.), *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino*. Natal: EDUFRN.
- Bauer, H. H. (2002). “Pathological science” is not scientific misconduct (nor is it pathological). *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 8(1), 5–20.
- Bejarano, N. R. R., & Carvalho, A. M. P. (2000). A educação química no Brasil : uma visão através das pesquisas e publicações da área. *Educación Química*, XI(1), 160–167.
- Bell, R. L. (2006). Perusing Pandora’s Box - Exploring the what, when, e How Nature of Science Instruction. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific Inquiry and Nature of Science - Implications for Teaching, Learning and Teacher Education* (pp. 427–446). Dordrecht: Springer.
- Beltran, M. H. R. (2013). História da Química e Ensino : estabelecendo interfaces entre campos interdisciplinares. *Abakós*, 1(2), 67–77.
- Beltran, M. H. R., & Saito, F. (2012). História da ciência , epistemologia e ensino: uma proposta para atualizar esse diálogo. In *Atas do VIII ENPEC: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências / I CIEC: Congreso Iberoamericano de Investigación en Enseñanza de las Ciencias* (pp. 1–8). Campinas: ABRAPEC.
- Beltran, N. O. (1995). Editorial. *Química Nova Na Escola*, 1, 1.
- Bengoetxea, J. B. (2004). Filosofía y Enseñanza de la Química sin reduccionismos.

- Educação E Filosofia*, 18(35/36), 233–258.
- Bensaude-Vincent, B., & Simon, J. (2008). *Chemistry: The impure science*. London: Imperial College Press.
- Bentley, M. L., & Fleury, S. C. (1998). Of Starting points and destinations: Teacher Education and the Nature of Science. In W. F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education - Rationales and strategies* (pp. 277–291). New York-Boston-Dordrecht-London-Moscow: Kluwer Academic Publisher.
- Bhushan, N., & Rosenfeld, S. (Eds.). (2000). *Of Minds and Molecules: New Philosophical Perspectives on Chemistry*. New York: Oxford University Press.
- Bizzo, N. (1992). História da Ciência e Ensino: onde terminam os paralelos possíveis. *Em Aberto*, 11(55), 29–35.
- Bloor, D. (1991). *Knowledge and Social Imagery* (2nd ed.). Chicago-London: The University of Chicago Press.
- Børsen, T., & Schummer, J. (2016). EDITORIAL. Ethical case studies of Chemistry. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 22(1), 1–7.
- Brasil. (1996). *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional: Lei número 9394, 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional*.
- Brasil. (1998). *Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio: Resolução CEB número 3, 26 de Junho de 1998, que institui as diretrizes curriculares nacionais para o Ensino Médio*.
- Brasil. (1999). *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*. Brasília: Ministério da Educação.
- Brasil. (2001). *Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química: Parecer CNE/CES 1.303, homologado em 4 de dezembro de 2001*.
- Brasil. (2002). *PCN + Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília: MEC;SEMTEC.
- Brasil. (2006). *Orientações Curriculares para o Ensino Médio*. Brasília: MEC;SEB.
- Brasil. (2015). *Percepção pública da ciência e tecnologia 2015 - Ciência e tecnologia no olhar dos brasileiros. Sumário executivo*. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação/Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Retrieved from <http://percepcaocti.cgee.org.br/wp-content/themes/cgee/files/sumario.pdf>
- Brasil. (2016). *Base Nacional Comum Curricular. Proposta preliminar. Segunda versão revista*. Brasília: Ministério da Educação.
- Brasil. (2017). *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: Ministério da Educação.
- Brotans, V. N. (1983). La Historia de Las Ciencias y la Enseñanza. *Enseñanza de Las*

- Ciencias*, 1(1), 50–54.
- Brush, S. (1974). Should the history of science be X-rated? *Science*, 183(4130), 1164–1172.
- Cachapuz, A., Praia, J., & Jorge, M. (2004). Da educação em Ciência às orientações para o ensino das ciências: um repensar epistemológico. *Ciência & Educação*, 10(3), 363–381.
- Campanario, J. M. (1999). La Ciencia Que No Enseñamos. *Enseñanza De Las Ciencias*, 17(3), 397–410.
- Carvalho, L. M. (2001). A Natureza da Ciência e o ensino das Ciências Naturais: Tendências e perspectivas na formação de professores. *Pro-Posições*, 12(1), 139–150.
- Cerletti, A. A., & Kohan, W. O. (1999). *A filosofia no ensino médio: caminhos para pensar seu sentido*. Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- Chalmers, A. F. (1993). *O que é ciência afinal?* São Paulo: Editora Brasiliense.
- Chamizo, J. A. (2007). El curriculum oculto en la enseñanza de la Química. In J. A. Chamizo (Ed.), *La esencia de la Química: reflexiones sobre filosofía y educación* (pp. 13–26). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chamizo, J. A. (2013). Technochemistry: One of the chemists' ways of knowing. *Foundations of Chemistry*, 15(2), 157–170.
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2013). *Química*. Porto Alegre: AMGH.
- Chassot, A. (1995). Alquimiando a química. *Química Nova Na Escola*, 1, 20–22.
- Chassot, A. (1998). Fazendo uma oposição ao presenteísmo com o Ensino de Filosofia da História da Ciência. *Episteme*, 3(7), 97–107.
- Christie, M., & Christie, J. R. (2000). "Laws" and "Theories" in Chemistry do not obey the rules. In N. Bhushan & S. Rosenfeld (Eds.), *Of minds and molecules: new philosophical perspectives on chemistry* (pp. 34–50). New York: Oxford University Press.
- Clough, M. P., & Olson, J. K. (2012). Impact of a Nature of Science and Science Education Course on Teachers' Nature of Science Classroom Practices. In M. S. Khine (Ed.), *Advances in Nature of Science Research - Concepts and Methodologies*. Dordrecht-Heidelberg-London-New York: Springer.
- Collins, H. (2007). The uses of Sociology of Science for scientists and educators. *Science & Education*, 16(3–5), 217–230.
- Conant, J. B. (1947). *On Understanding Science - An Historical Approach*. New York: The New American Library.
- Conant, J. B. (Ed.). (1957). *Harvard Case Histories in Experimental Science*.

Cambridge: Harvard University Press.

- Connelly, F. M. (1969). Philosophy of science and the Science Curriculum. *Journal of Research in Science Teaching*, 6(1), 108–113.
- Contakes, S. M., & Jashinsky, T. (2016). Ethical responsibilities in military-related work: the case of napalm. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 22(1), 31–53.
- Coppola, B. P. (2000). Targeting entry points for ethics in Chemistry teaching and learning. *Journal of Chemical Education*, 77(11), 1506–1511.
- Coppola, B. P. (2001). The technology transfer dilemma: preserving morally responsible education in a utilitarian entrepreneurial academic culture. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 7(2), 155–167.
- Coppola, B. P., & Smith, D. H. (1996). A case for ethics. *Journal of Chemical Education*, 73(1), 33–34.
- Costa, S., & Diniz, D. (2001). *Bioética: ensaios*. Brasília: Letras Livres.
- Costa, S., Garrafa, V., & Oselka, G. (1998). Apresentando a Bioética. In S. Costa, G. Oselka, & V. Garrafa (Eds.), *Iniciação à bioética* (pp. 15–18). Brasília: Conselho Federal de Medicina.
- Crosland, M. (1975). The development of a professional career in science in France. *Minerva*, 13(1), 38–57.
- Cudmani, L. C. (2001). “Cuestiones que plantean las concepciones posmodernas en la Enseñanza de las Ciencias. Visiones de científicos destacados de la historia.” *Ciência & Educação*, 7(2), 155–168.
- Cunningham, C. M., & Helms, J. V. (1998). Sociology of Science as a Means to a More Authentic, Inclusive Science Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), 483–499.
- Cupani, A., & Pietrocola, M. (2002). A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o Ensino de Ciências. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 19(especial), 96–120.
- Dagher, Z. R., & Erduran, S. (2016). Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education - Why does it matter? *Science & Education*, 25(1–2), 147–164.
- Dallari, S. G. (1998). A Bioética e a Saúde Pública. In S. Costa, G. Oselka, & V. Garrafa (Eds.), *Iniciação à bioética* (pp. 205–216). Brasília: Conselho Federal de Medicina.
- Danelon, M. (2010). Em torno da especificidade da filosofia: uma leitura das orientações curriculares nacionais de filosofia para o ensino Ensino Médio. In G. Cornelli, M. Carvalho, & M. Danelon (Eds.), *Filosofia: Ensino Médio* (pp. 185–202). Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica.

- Davis, M. (2002). Do the professional ethics of chemists and engineers differ? *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 8(1), 21–34.
- Davson-Galle, P. (2008). Why compulsory Science Education should not include Philosophy of Science. *Science & Education*, 17(7), 677–716.
- Debus, A. G. (1991). A ciência e as humanidades: a função renovadora da indagação histórica. *Revista Brasileira de História Da Ciência*, 5, 3–13.
- Del Re, G. (2001). Ethics and science. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 7(2), 85–102.
- Delizoicov, D. (1996). Editorial. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 13(3), 182–183.
- Delizoicov, D., Castilho, N., Cutolo, L. R. A., Ros, M. A. D., & Lima, A. M. C. (2002). Sociogênese do Conhecimento e Pesquisa em Ensino: Contribuições a partir do referencial Fleckiano. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19(num. esp.), 52–69.
- Dias, M. B. O. (2009). Avaliação em Filosofia sim! Por que não? Uma proposta para a elaboração de instrumentos avaliativos da aprendizagem de Filosofia na Educação Básica. *Revista Sul-Americana de Filosofia E Educação*, (13), 54–63.
- Diniz, D., & Guilhem, D. (2002). *O que é bioética*. São Paulo: Brasiliense.
- Diniz, D., & Sugai, A. (2008). Ética em pesquisa - temas globais. In D. Diniz, A. Sugai, D. Guilhem, & F. Squinca (Eds.), *Ética em pesquisa: temas globais* (pp. 9–24). Brasília: Letras Livres/Editora UnB.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people`s image of science*. Buckingham: Open University Press.
- Duschl, R. A. (1985). Science Education and Philosophy of Science Twenty-five Years of Mutually Exclusive Development. *School Science and Mathematics*, 85(7), 541–554.
- Dutra, L. H. A. (2010). *Introdução à epistemologia*. São Paulo: Editora Unesp.
- Earley, J. E. (Ed.). (2003). *Chemical explanation: characteristics, development and autonomy*. New York: New York Academy of Sciences.
- Earley, J. E. (2004). Would introductory chemistry courses work better with a new philosophical basis. *Foundations of Chemistry*, 6(2), 137–160.
- Eflin, J. T., Glennan, S. S., & Reisch, G. (1999). The nature of science: A perspective from the philosophy of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 107–116.
- El-Hani, C., Tavares, E., & Rocha, P. (2004). Concepções epistemológicas de estudantes de biologia e sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre história e filosofia das ciências. *Investigações Em Ensino de Ciências*,

- 9(265), 265–313.
- Erduran, S. (2001). Philosophy of chemistry: An emerging field with implications for chemistry education. *Science & Education*, 10(6), 581–593.
- Erduran, S. (2005). Applying the philosophical concept of reduction to the chemistry of water: Implications for Chemical Education. *Science & Education*, 14(2), 161–171.
- Erduran, S. (2007). Breaking the law: promoting domain-specificity in chemical education in the context of arguing about the periodic law. *Foundations of Chemistry*, 9(3), 247–263.
- Erduran, S. (2009). Beyond philosophical confusion: establishing the role of Philosophy of Chemistry in Chemical Education Research. *Journal of Baltic Science Education*, 8(1), 5–14.
- Erduran, S. (2013a). Nature of Science and Science Education : Missing Connections and Potential Interdisciplinary Links. *Biology International*, 54(54), 49–54.
- Erduran, S. (2013b). Philosophy , Chemistry and Education: An Introduction. *Science & Education*, 22, 1559–1562.
- Erduran, S., Adúriz-Bravo, A., & Naaman, R. M. (2007). Developing epistemologically empowered teachers: Examining the role of philosophy of chemistry in teacher education. *Science and Education*, 16(9–10), 975–989.
- Erduran, S., & Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education - Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories*. Dordrecht-Heidelberg-London-New York: Springer.
- Erduran, S., & Duschl, R. (2004). Interdisciplinary Characterizations of Models and the Nature of Chemical Knowledge in the Classroom. *Studies in Science Education*, 40(1), 105–138.
- Erduran, S., & Mugaloglu, E. Z. (2014). Philosophy of Chemistry in Chemical Education: Recent Trends and Future Directions. In M. R. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Dordrecht-Heidelberg-New York-London: Springer.
- Eriksen, K. K. (2002). The Future of Tertiary Chemical Education – A Bildung Focus ? *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 8(1), 35–48.
- FAPESP. (2014). *Código de boas práticas científicas*. São Paulo: FAPESP.
- Ferreira, J. M. H., & Martins, A. F. P. (2012). Avaliando a inserção da temática Natureza da Ciência na disciplina de História e Filosofia da Ciência para graduandos em Física da UFRN. In L. O. Q. Peduzzi, A. F. P. Martins, & J. M. H. Ferreira (Eds.), *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino* (pp. 155–181). Natal: EDUFRN.
- Firestone, J. B., Wong, S. S., Luft, J. A., & Fay, D. (2012). The Nature of Science or the Nature of Teachers: Beginning Science Teacher's Understanding of NOS. In

- M. S. Khine (Ed.), *Advances in Nature of Science Research - Concepts and Methodologies* (pp. 189–206). Dordrecht-Heidelberg-London-New York: Springer.
- Fleuri, R. M. (1987). Filosofar para quê? *Educação E Filosofia*, 1(2), 85–90.
- Fonseca, A. B. (2007). Ciência, Tecnologia e desigualdade social no Brasil: contribuições da Sociologia do conhecimento para a educação em Ciências. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 6(2), 364–377.
- Forato, T., Guerra, A., & Braga, M. (2014). Historiadores das ciências e educadores: frutíferas parcerias para um ensino de ciências reflexivo e crítico. *Revista Brasileira de História Da Ciência*, 7(2), 137–141.
- Forato, T., Pietrocola, M., & Martins, R. (2011a). Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), 27–59.
- Forato, T., Pietrocola, M., & Martins, R. A. (2011b). Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), 27–59.
- Forge, J. C. (1979). A Role for Philosophy of Science in the Teaching of Science. *Journal of Philosophy of Education*, 13(1), 109–117.
- Freitas, M. T. D. A. (2002). A abordagem sócio-histórica como orientadora da pesquisa qualitativa. *Cadernos de Pesquisa*, (116), 21–39.
- Gagliardi, R., & Giordan, A. (1986). La Historia de las Ciencias: Una Herramienta para la Enseñanza. *Enseñanza de Las Ciencias*, 4(3), 253–258.
- Gallo, S. (2007). A filosofia e seu ensino: conceito e transversalidade. In R. J. T. Silveira & R. Goto (Eds.), *Filosofia no ensino médio: Temas, problemas e propostas* (pp. 15–36). São Paulo: Edições Loyola.
- Gallo, S. (2010). Ensino de filosofia: avaliação e materiais didáticos. In G. Cornelli, M. Carvalho, & M. Danelon (Eds.), *Filosofia: Ensino Médio* (pp. 159–170). Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica.
- Garcez, A., Duarte, R., & Eisenberg, Z. (2011). Produção e análise de vídeograções em pesquisas qualitativas. *Educação E Pesquisa*, 37(2), 249–262.
- Garnett, P. J., Garnett, P. J., & Hackling, M. W. (1995). Students' Alternative Conceptions in Chemistry: a Review of Research and Implications for Teaching and Learning. *Studies in Science Education*, 25, 69–95.
- Gelamo, R. P. (2007). Ensino de Filosofia para não-filósofos. Filosofia de Ofício ou ofício de professor: os limites do filosofar. *Educação & Sociedade*, 28(98), 231–252.
- Gelamo, R. P. (2008). Pensar sem pressupostos: condição para problematizar o ensino da filosofia. *Pro-Posições*, 19(3), 161–174.
- Gelamo, R. P. (2010). Notas sobre o problema da explicação e da experiência no ensino da Filosofia. *Educação E Pesquisa*, 36(2), 527–538.

- Gil-Pérez, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de Las Ciencias*, 11(2), 197–212.
- Gil-Pérez, D., Montoro, I. F., Alís, J. C., Cachapuz, A., & Praia, J. (2001). Para uma Imagem Não-deformada do Trabalho Científico. *Ciência & Educação*, 7(2), 125–153.
- Gil-Pérez, D., & Vilches, A. (2005). Inmersión en la cultura científica para la toma de decisiones ¿necesidad o mito? *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 2(3), 302–329.
- Gimbel, S., & Wedlock, M. (2006). Report on an interdisciplinary seminar in the philosophy of chemistry. *Journal of Chemical Education*, 83(6), 880–882.
- Giordan, M. (2008). *Computadores e linguagens nas aulas de ciências: uma perspectiva sociocultural para compreender a construção de significados*. Ijuí: Ed. Unijuí.
- Goto, R. (2007). “Que bagulho é isto - filosofia?” In R. J. T. Silveira & R. Goto (Eds.), *Filosofia no ensino médio: Temas, problemas e propostas* (pp. 53–75). São Paulo: Edições Loyola.
- Goto, R. (2009). Um diálogo e um simpósio intermináveis. In R. Trentin & R. Goto (Eds.), *A filosofia e seu ensino: caminhos e sentidos* (pp. 95–108). São Paulo: Edições Loyola.
- Greca, I. M., & Freire Jr., O. (2004). A “crítica forte” da ciência e implicações para a Educação em Ciências. *Ciência & Educação*, 10(3), 343–361.
- Griffiths, A. K., & Barry, M. (1991). Secondary School Students’ Understanding of the Nature of Science. *Research in Science Education*, 21(1), 141–159.
- Grüne-Yanoff, T. (2014). Teaching philosophy of science to scientists: why, what and how. *European Journal for Philosophy of Science*, 4(1), 115–134.
- Guilhem, D., & Diniz, D. (2008). *O que é ética em pesquisa*. São Paulo: Editora Brasiliense.
- Gurgel, C. M. A., & Mariano, G. E. (2009). Concepção de neutralidade e objetividade da ciência e tecnologia na formação de professores de ciências: argumentos para a inserção da história e sociologia da ciência na construção do conhecimento científico. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência E Tecnologia*, 1(1), 59–72.
- Hacking, I. (2012). *Representar e Intervir: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural*. Rio de Janeiro: EdUERJ.
- Hahn, H., Neurath, O., & Carnap, R. (1986). A concepção científica do mundo - o círculo de viena. *Caderno de História E Filosofia Da Ciência*, 10, 5–20.
- Harres, J. B. S. (1999). Uma Revisão de Pesquisas nas concepções de professores sobre a Natureza da Ciência e suas implicações para o Ensino. *Investigações Em*

Ensino de Ciências, 4(3), 197–211.

- Henrique, A., Rozentalski, E., & Polati, F. (2015). Controversial aspects of the construct NOS in the Ibero-American Science Education journals: a literature review. In *13th Biennial International Conference of the History, Philosophy and Sociology of Science, and Science Teaching*. Rio de Janeiro: Annals of 13th Biennial International Conference of the History, Philosophy and Sociology of Science, and Science Teaching.
- Herreid, C. F. (2007a). And All That Jazz: An Essay Extolling the Virtues of Writing Case Teaching Notes. In C. F. Herreid (Ed.), *Start with a story: the case study method of teaching college science* (pp. 387–391). Arlington, Virginia: National Science Teachers Association.
- Herreid, C. F. (2007b). What Is a Case? Bringing to Science Education the Established Teaching Tool of Law and Medicine. In C. F. Herreid (Ed.), *Start with a story: the case study method of teaching college science* (pp. 41–44). Arlington, Virginia: National Science Teachers Association.
- Herreid, C. F. (2007c). What Makes a Good Case? Some Basic Rules of Good Storytelling Help Teachers Generate Excitement in the Classroom. In C. F. Herreid (Ed.), *Start with a story: the case study method of teaching college science* (pp. 45–48). Arlington, Virginia: National Science Teachers Association.
- Hodson, D. (1985). Philosophy of Science, Science and Science Education. *Studies in Science Education*, 12(1), 25–57.
- Hodson, D. (1986). Philosophy of Science and Science Education. *Journal of Philosophy of Education*, 20(2), 215–225.
- Hodson, D. (2014). Nature of Science in the Science Curriculum: Origin, Development, Implications and Shifting Emphases. In M. R. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 911–970). Dordrecht-Heidelberg-New York-London: Springer.
- Holton, G. (2003). What historians of science and science educators can do for one another. *Science & Education*, 12(7), 603–616.
- Hygino, C. B., Souza, N. S., & Linhares, M. P. (2012). Reflexões sobre a Natureza da Ciência em Aulas de Física: estudo de um episódio histórico do Brasil colonial. *Experiências Em Ensino de Ciências*, 7(2), 14–24.
- Irzik, G., & Nola, R. (2011). A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education. *Science & Education*, 20, 591–607.
- Irzik, G., & Nola, R. (2014). New Directions for Nature of Science Research. In M. R. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy, and Science Teaching* (pp. 999–1021). Dordrecht-Heidelberg-New York-London: Springer.
- Ivany, J. W. G. (1969). Philosophy of science: Implications for curriculum a reaction. *Journal of Research in Science Teaching*, 6(1), 114–115.

- Izquierdo, M. (2013). School Chemistry: An Historical and Philosophical. *Science & Education*, 22(7), 1633–1653.
- Jacob, C., & Walters, A. (2005). Risk and responsibility in chemical research: the case of agent orange. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 11(2), 147–166.
- Japiassú, H., & Marcondes, D. (2001). *Dicionário Básico de Filosofia*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor.
- Jones, G., & Jacob, C. (1999). Teaching philosophy of chemistry at the University of Exeter. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 9(1), 126–128.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Philosophy of Chemistry in university Chemical Education: the case of models and modelling. *Foundations of Chemistry*, 4(3), 213–240.
- Kauffman, G. B. (1992). Quimiofobia. *Educación Química*, 3(2), 140–144.
- Kavalek, D. S., Souza, D. O., Del Pino, J. C., & Ribeiro, M. A. P. (2015). Filosofia e História da Química para educadores em Química. *História Da Ciência E Ensino*, 12, 1–13.
- Kelly, G. J., Carlsen, W. S., & Cunningham, C. M. (1993). Science education in Sociocultural Context: Perspectives from the Sociology of Science. *Science Education*, 77(2), 207–220.
- Klein, M. J. (1972). Use and Abuse of Historical Teaching in Physics. In S. Brush & A. King (Eds.), *History in the Teaching of Physics*. Hanover: University Press of New England.
- Klopfer, L. E. (1964). The Use of Case Histories in Science Teaching. *School Science and Mathematics*, 64(8), 660–666.
- Klopfer, L. E. (1969). The Teaching of Science and the History of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 6(1), 87–95.
- Klopfer, L. E., & Cooley, W. W. (1963). The History of Science cases for high schools in the development of student understanding of science and scientists: A report on the HOSG instruction project. *Journal of Research in Science Teaching*, 1(1), 33–47.
- Kovac, J. (1996). Scientific ethics in Chemical Education. *Journal of Chemical Education*, 73(10), 926–928.
- Kovac, J. (2001). Gifts and commodities in Chemistry. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 7(2), 141–153.
- Kovac, J. (2004). *The ethical chemist: professionalism and ethics in science*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Kovac, J. (2006). Professional ethics in science. In D. Baird, E. Scerri, & L. McIntyre

- (Eds.), *Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline* (pp. 157–169). Dordrecht: Springer.
- Kovac, J. (2015). Ethics in science: the unique consequences of Chemistry. *Accountability in Research*, 22(6), 312–29.
- Kuhn, T. (2009). *A Estrutura das Revoluções Científicas* (9 ed.). São Paulo: Perspectiva.
- Labarca, M. (2005). La Filosofía de la Química en la Filosofía de la Ciencia contemporánea. *Redes*, 11(21), 155–171.
- Labarca, M. (2006). La Filosofía de la Química y su impacto en la Educación en Química. *Educación En La Química*, 12(2), 59–71.
- Labarca, M. (2010). Filosofía de la química: a pouco más de diez años de su nacimiento. In R. A. Martins, L. Lewowicz, J. M. H. Ferreira, C. C. Silvia, & L. A. P. Martin (Eds.), *Filosofia e história da ciência no cone sul - seleção de trabalhos do 6 Encontro* (pp. 414–422). Campinas: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul (AFHIC).
- Labarca, M., Bejarano, N., & Eichler, M. L. (2013). Química e Filosofia: rumo a uma frutífera colaboração. *Química Nova*, 36(8), 1256–1266.
- Lakatos, I. (1970). History of Science and Its Rational Reconstructions. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 1970(1970), 91–136.
- Laszlo, P. (2001). Handling proliferation. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 7(2), 125–140.
- Lavoisier, A. (2007). *Tratado Elementar de Química*. São Paulo: Madras.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and Teachers' Conceptions of the Nature of Science: A Review of the Research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331–359.
- Lederman, N. G. (2006). Syntax of Nature of Science within inquiry and science instruction. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific Inquiry and Nature of Science - Implications for Teaching, Learning and Teacher Education* (pp. 301–318). Dordrecht: Springer.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of Science: past, present, and future. In S. Abel & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 831–880). Mahwah - New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497–521.
- Lederman, N. G., Bartos, S. A., & Lederman, J. S. (2014). The Development, Use, and

- Interpretation of Nature of Science Assessments. In M. R. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history , philosophy and science teaching* (pp. 971–997). Dordrecht-Heidelberg-New York-London: Springer.
- Lederman, N. G., Wade, P., & Bell, R. L. (1998). Assessing understanding of the Nature of Science: a historical perspective. In W. F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education - Rationales and strategies* (pp. 331–350). New York-Boston-Dordrecht-London-Moscow: Kluwer Academic Publisher.
- Lemes, A. F. G. (2016). *Evidência não evidente: as explicações em uma disciplina de química geral*. Tese de Doutorado, Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Lemes, A. F. G., & Porto, P. A. (2013). Introdução à filosofia da química: uma revisão bibliográfica das questões mais discutidas na área e sua importância para o ensino de química. *Revista Brasileira de Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 13(3), 121–147.
- Leung, J. S. C., Wong, A. S. L., & Yung, B. H. W. (2015). Understandings of Nature of Science and Multiple Perspective Evaluation of Science News by Non-science Majors. *Science & Education*, 24(7), 887–912.
- Lima Junior, P., Lang, F., Ostermann, F., & Pinheiro, N. C. (2015). A Física como uma construção cultural arbitrária: Um exemplo da controvérsia sobre o status ontológico das forças inerciais. *Revista Brasileira de Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 15(1), 195–217.
- Lima Junior, P., Ostermann, F., & Rezende, F. (2012). Análise dos condicionantes sociais da evasão e retenção em cursos de graduação em física à luz da sociologia de Bourdieu. *Revista Brasileira de Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 12(1), 37–60.
- Lin, H., & Chen, C. (2002). Promoting Preservice Chemistry Teachers' Understanding about the Nature of Science through History. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(9), 773–792.
- Loizos, P. (2008). Vídeo, filme e fotografias como documentos de pesquisa. In M. W. Bauer & G. Gaskell (Eds.), *Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático* (pp. 137–155). Petrópolis: Editora Vozes.
- Lombardi, O. (1997). La pertinencia de la Historia en la Enseñanza de Ciencias: argumentos y contraargumentos. *Enseñanza de Las Ciencias*, 15(3), 343–349.
- Lombardi, O., & Labarca, M. (2007). The Philosophy of Chemistry as a New Resource for Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 84(1), 187–192.
- Lopes, A. R. C. (1996). Bachelard: O filósofo da desilusão. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 13(3), 248–273.
- Lopes, P. A. (2017). Representações sociais da Filosofia como disciplina obrigatória num centro de Ensino Médio em Ceilândia, DF. *Filosofia E Educação*, 9(2), 181–

199.

- Lopes, C. V., Krüger, V., Del Pino, J. C., & Souza, D. O. G. (2007). Concepções de professores de Química sobre a natureza do conhecimento científico. *Acta Scientiae*, 9(1), 3–16.
- Machamer, P. (1998). Philosophy of Science: An overview for educators. *Science & Education*, 7(1), 1–11.
- Manassero-Mas, M., & Vázquez-Alonso, Á. (2001). Actitudes de estudiantes y profesorado sobre las características de los científicos. *Enseñanza de Las Ciencias*, 19(2), 255–268.
- Marchlewicz, S. C., & Wink, D. J. (2011). Using the activity model of inquiry to enhance general chemistry students' understanding of nature of science. *Journal of Chemical Education*, 88(8), 1041–1047.
- Martin, A., Iles, A., & Rosen, C. (2016). Applying utilitarianism and deontology in managing bisphenol-A risks in the United States. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 22(2016), 79–103.
- Martin, M. (1972). Philosophy of Science and Science Education. *Studies in Philosophy and Education*, 7(3), 210–225.
- Martin, M. (1974). The Relevance of Philosophy of Science for Science Education. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 1974(1974), 293–300.
- Martins, A. F. P. (2007). História e Filosofia da Ciência no ensino: Há Muitas Pedras Nesse Caminho ... *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(1), 112–131.
- Martins, A. F. P. (Ed.). (2009). *Física ainda é cultura?* São Paulo: Livraria da Física Editora.
- Martins, A. F. P. (2015). Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em “temas” e “questões.” *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(3), 703–737.
- Martins, I. (2006). Dados como diálogo: construindo dados a partir de registros de observação de interações discursivas em salas de aulas de ciências. In F. M. T. Santos & I. M. Greca (Eds.), *A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil e suas metodologias*. Ijuí: Ed. Unijuí.
- Martins, L. A. P., & Martins, R. A. (1989). Geração Espontânea: dois pontos de vista. *Perspicillum*, 3(1), 5–32.
- Martins, R. A. (1988). Contribuição do conhecimento histórico ao ensino do eletromagnetismo. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 5(especial), 49–57.
- Martins, R. A. (1990a). Como Becquerel não descobriu a radioatividade. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 7(Especial), 27–45.

- Martins, R. A. (1990b). Sobre o papel da História da Ciência no ensino. *Boletim Da Sociedade Brasileira de História Da Ciência*, (9), 3–5.
- Martins, R. A. (2002). Que tipo de História da Ciência esperamos ter nas próximas décadas? *Episteme*, 7(10), 311–320.
- Martins, R. A. (2005). Ciência versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência. In A. M. Alfonso-Goldfarb & M. H. R. Beltran (Eds.), *Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas* (pp. 115–145). São Paulo: EDUC/Livraria da Física/FAPESP.
- Martins, R. A. (2006). Introdução. A História das Ciências e seus usos na educação. In C. C. Silva (Ed.), *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino* (pp. xxi–xxxiv). São Paulo: Livraria da Física.
- Martorano, S. A. A., & Marcondes, M. E. R. (2009). As concepções de ciência dos livros didáticos de Química, dirigidos ao Ensino Médio, no tratamento da Cinética Química no período de 1929 a 2004. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 14(3), 341–355.
- Massi, L., & Villani, A. (2014). Contribuições dos estudos de perfil dos graduandos : o caso dos cursos de licenciatura e bacharelado em Química da UNESP / Araraquara. *Revista Brasileira de Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 14(1), 151–170.
- Massoni, N. T. (2009). Laboratório de supercondutividade e magnetismo: um enfoque epistemológico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 26(2), 237–272.
- Massoni, N. T., & Moreira, M. A. (2010). Un enfoque epistemológico de la enseñanza de la Física : una contribución para el aprendizaje significativo de la Física , con muchas cuestiones sin respuesta. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 9(2), 283–308.
- Massoni, N. T., & Moreira, M. A. (2012). Ensino de física em uma escola pública: um estudo de caso etnográfico com um viés epistemológico. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 17(1), 147–181.
- Matos, J. C., & Medeiros, A. M. (2015). Reflexões e contribuições para a metodologia do ensino de Filosofia na perspectiva da pedagogia da autonomia Freiriana. *Revista Sul-Americana de Filosofia E Educação*, (24), 121–136.
- Matthews, M. R. (1989). History, philosophy, and science teaching: A brief review. *Synthese*, 80(1), 1–7.
- Matthews, M. R. (1992). History , Philosophy , and Science Teaching : The Present Rapprochement 1. *Science & Education*, 1(1), 11–47.
- Matthews, M. R. (1994). *Science teaching: The role of History and Philosophy of Science*. New York-London: Routledge.
- Matthews, M. R. (1995). História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 12(3), 164–214.

- Matthews, M. R. (1998). In defense of modest goals when teaching about the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(2), 161–174.
- Matthews, M. R. (2012). Changing the Focus: From Nature of Science (NOS) to Features of Science (FOS). In M. S. Khine (Ed.), *Advances in Nature of Science Research - Concepts and Methodologies* (pp. 3–26). Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer.
- McComas, W. F. (1998). The principal elements of the Nature of Science: dispelling the myths. In W. F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education: rationales and strategies* (pp. 53–70). New York-Boston-Dordrecht-London-Moscow: Kluwer Academic Publisher.
- McComas, W. F. (2013). Uma proposta de classificação para os tipos de aplicação da História da Ciência na formação científica: implicações para a pesquisa e desenvolvimento. In C. C. Silva & M. E. B. Prestes (Eds.), *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas* (pp. 425–448). São Carlos: Tipographia Editora Expressa.
- McComas, W. F. (2014). Nature of Science in the Science Curriculum and in Teacher Education Programs in the United States. In M. R. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1993–2023). Dordrecht-Heidelberg-London-New York: Springer.
- McComas, W. F., Clough, M. P., & Almazroa, H. (1998a). The Nature of Science in Science Education: An Introduction. *Science & Education*, 7, 511–532.
- McComas, W. F., Clough, M. P., & Almazroa, H. (1998b). The role and character of the Nature of Science in Science Education. In W. F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education: rationales and strategies* (pp. 3–39). New York-Boston-Dordrecht-London-Moscow: Kluwer Academic Publisher.
- McComas, W. F., & Olson, J. K. (1998). The Nature of Science in international science education standards documents. In W. F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education: rationales and strategies* (pp. 41–52). New York-Boston-Dordrecht-London-Moscow: Kluwer Academic Publisher.
- Mellado, V., & Carracedo, D. (1993). Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias*, 11(3), 331–339.
- Menezes, M. A. A. (2009). Do método do caso ao case: a trajetória de uma ferramenta pedagógica. *Educação E Pesquisa*, 35(1), 129–143.
- Mercer, N. (1997). *La construcción guiada del conocimiento: el habla de profesores y alumnos*. Barcelona-Buenos Aires-México: Paidós.
- Merton, R. K. (1973). *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations*. Chicago-London: The University of Chicago Press.
- Merton, R. K. (2013). O efeito Mateus na ciência II: a vantagem cumulativa e o simbolismo da propriedade intelectual. In A. Marcovich & T. Shinn (Eds.), *Ensaio de sociologia da ciência* (pp. 199–231). São Paulo: Associação Filosófica

Scientiae Studia/Editora 34.

- Metz, D. (2013). Story interrupted: using History and Philosophy of Science in everyday instruction. In C. C. Silva & M. E. B. Prestes (Eds.), *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas* (pp. 389–396). São Carlos: Tipographia Editora Expressa.
- Meucci, A., & Barros Filho, C. (2009). O que “Ensinar Filosofia” quer dizer? *Revista Sul-Americana de Filosofia E Educação*, (13), 76–92.
- Meyer, D. Z., & Avery, L. M. (2010). A third use of sociology of scientific knowledge: a lens for studying teacher practice. *Studies in Science Education*, 46(2), 153–178.
- Minayo, M. C. S. (2006). *O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde*. São Paulo: Editora Hucitec.
- Mortimer, E. F., Massicame, T., Tiberghien, A., & Buty, C. (2005). Uma metodologia de análise e comparação entre a dinâmica discursiva de salas de aulas de ciências utilizando software e sistemas de categorização de dados em vídeo: parte 1, dados gerais. In *V Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências* (pp. 1–12). Bauru: ABRAPEC.
- Moura, B. A. (2014). O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? *Revista Brasileira de História Da Ciência*, 7(1), 32–46.
- Murcho, D. (2008). A natureza da filosofia e o seu ensino. *Educação E Filosofia*, 22(44), 79–99.
- Nardi, R. (2005). Memórias da Educação em Ciências no Brasil: a pesquisa em Ensino de Física. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 10(1), 63–101.
- Newman, M. (2013). Emergence, supervenience, and introductory Chemical Education. *Science & Education*, 22(7), 1655–1667.
- Niaz, M., & Maza, A. (2011). *Nature of Science in General Chemistry Textbooks*. Dordrecht-Heidelberg-London-New York: Springer.
- Oki, M. C. M., & Moradillo, E. F. (2008). O ensino da história da química: contribuindo para a compreensão da natureza da ciência. *Ciência & Educação*, 14(1), 67–88.
- Oleques, L. C., Boer, N., & Bartholomei-Santos, M. L. (2013). Reflexões acerca das diferentes visões sobre a natureza da ciência e crenças de alunos de um curso de Ciências Biológicas. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 12(1), 110–125.
- Oliveira, M. B. (2015). A epidemia de más condutas na ciência: o fracasso do tratamento moralizador. *Scientiae Studia*, 13(4), 867–897.
- Oliveira, R. A., & Silva, A. P. B. (2011). História da ciência e Ensino de Física: uma análise meta-histórica. In L. O. Q. Peduzzi, A. F. P. Martins, & J. M. H. Ferreira (Eds.), *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino* (Peduzzi, L., pp. 41–64). Natal: EDUFRN.

- Oliveira, R. A., & Silva, A. P. B. (2013). Entre o discurso e a prática sobre História , Filosofia e Natureza da Ciência e a sala de aula de Física: um panorama a partir dos eventos de Ensino de Física. In C. C. Silva & M. E. B. Prestes (Eds.), *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas* (pp. 319–330). São Carlos: Tipographia Editora Expressa.
- Oliveira, R. M., & Velho, L. (2009). Benefícios e riscos da proteção e comercialização da pesquisa acadêmica: uma discussão necessária. *Ensaio: Avaliação E Políticas Públicas Em Educação*, 17(62), 25–54.
- Ollaik, L. G., & Ziller, H. M. (2012). Concepções de validade em pesquisas qualitativas. *Educação E Pesquisa*, 38(1), 229–241.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What “ideas-about-science” should be taught in school science? A delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692–720.
- Ostermann, F. (1996). A epistemologia de Kuhn. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 13(3), 184–96.
- Ozgelten, S., Yilmaz-Tuzun, O., & Hanuscin, D. L. (2013). Exploring the Development of Preservice Science Teachers’ Views on the Nature of Science in Inquiry-Based Laboratory Instruction. *Research in Science Education*, 43(4), 1551–1570.
- Palacios, J. G. A. (2007). Ensina-se a filosofar, filosofando. *Philosophos*, 12(1), 79–90.
- Palacios, J. G. A. (2010). De como ensinar o indefinível. *Revista Sul-Americana de Filosofia E Educação*, (13), 3–10.
- Pecker, J. (1970). *Experimental astronomy*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
- Peduzzi, L. O. Q., & Peduzzi, S. S. (1988). Editorial. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 5(especial), 5–6.
- Pereira, G. A. E., Freitas, I. T. H., Moreira, J. V. F., & Lopes, P. P. (2014). A identidade da disciplina filosofia e do docente no currículo do Ensino Médio. *Revista Sul-Americana de Filosofia E Educação*, (21), 3–16.
- Pesa, M. A., & Ostermann, F. (2001). La ciencia como actividad de resolución de problemas: la epistemología de Larry Laudan y algunos aportes para las investigaciones educativas en Ciencias. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19(especial), 84–99.
- Pimentel, A. M. S., & Monteiro, D. B. (2010). O professor de filosofia: limites e possibilidades – dinâmica e problematização do ensino-aprendizagem. *Educação E Pesquisa*, 36(1), 325–338.
- Porto, P. A. (2010). História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade. In W. L. P. dos S. O. A. Maldaner (Ed.), *Ensino de Química em Foco* (pp. 159–180). Ijuí: Editora Unijuí.

- Praia, J., & Cachapuz, F. (1994). Un análisis de las concepciones acerca de la Naturaleza del Conocimiento Científico de los profesores portugueses de la Enseñanza Secundaria. *Enseñanza de Las Ciencias*, 12(3), 350–354.
- Praia, J., Gil-Pérez, D., & Vilches, A. (2007). O papel da natureza da Ciência na educação para a cidadania. *Ciência & Educação*, 13(2), 141–156.
- Prestes, M. E. B., & Caldeira, A. M. A. (2009). Introdução. A importância da História da Ciência na Educação Científica. *Filosofia E História Da Biologia*, 4, 1–16.
- Pumfrey, S. (1991). History of science in the National Science Curriculum: a critical review of resources and the aims. *The British Journal for the History of Science*, 24(1), 61–78.
- Queiroz, S. L., & Almeida, M. J. P. M. (2004). Do fazer ao compreender ciências: reflexões sobre o aprendizado de alunos de iniciação científica em Química. *Ciencia & Educacao*, 10(1), 41–53.
- Ramalho, E. M. S. M., & Lima, W. M. (2015). Filosofia e autonomia. *Revista Sul-Americana de Filosofia E Educação*, (25), 20–39.
- Ramos, C. A. (2007). Aprender a filosofar ou aprender a filosofia: Kant ou Hegel? *Trans/Form/Ação*, 30(2), 197–217.
- Regner, A. C. K. P. (1996). Feyerabend e o pluralismo metodológico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 13(3), 231–247.
- Ribas, A. F. P., & Moura, M. L. S. (2006). Abordagem sociocultural: Algumas vertentes e autores. *Psicologia Em Estudo*, 11(1), 129–138.
- Ribeiro, M. A. P., Bejarano, N. R. R., & Santos, J. A. (2012). Filosofia da Química como fundamento do ensino de Química. In *XVI Encontro Nacional de Ensino de Química e X Encontro de Educação Química da Bahia*. Bahia: UFBA.
- Ribeiro, M. A. P., & Pereira, D. C. (2013). Constitutive Pluralism of Chemistry: Thought Planning, Curriculum, Epistemological and Didactic Orientations. *Science & Education*, 22(7), 1809–1837.
- Ribeiro, M. A. P., Pereira, D. C., & Ariza, Y. (2011). Proposta de integração da filosofia da química no currículo e didática da química. In J. Caluzi, M. C. P. Recena, & S. R. Q. A. Zuliani (Eds.), *Ensino de Ciências e Matemática VI – Ensino de Química*. (pp. 35–75). São Paulo: Cultura Acadêmica.
- Ribeiro, M. A. P., Pereira, D. C., & Barreto, S. (2011). A praxis química como fundamento didático para a química: uma proposta. In *VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Campinas: UNICAMP.
- Robilotta, M. R. (1988). O cinza, o branco e o preto – da relevância da História da Ciência no Ensino da Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 5(especial), 7–22.
- Robinson, J. T. (1969). Philosophy of science: Implications for teacher education.

Journal of Research in Science Teaching, 6(1), 99–104.

- Rodrigo, L. M. (2007). Uma alternativa para o ensino de filosofia no nível médio. In R. J. T. Silveira & R. Goto (Eds.), *Filosofia no ensino médio: Temas, problemas e propostas* (pp. 37–51). São Paulo: Edições Loyola.
- Rodrigo, L. M. (2009). O filósofo e o professor de Filosofia: prática em comparação. In R. Trentin & R. Goto (Eds.), *A filosofia e seu ensino: caminhos e sentidos* (pp. 79–93). São Paulo: Edições Loyola.
- Rodríguez, R. Y. A., & Aduríz-Bravo, A. (2013). Natureza de la ciencia: acuerdos teóricos en la comunidad Iberoamericana de Didáctica de las Ciencias. In C. C. Silva & M. E. B. Prestes (Eds.), *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas* (pp. 309–317). São Carlos: Tipographia Editora Expressa.
- Roehrig, G. H., & Luft, J. A. (2004). Constraints experienced by beginning secondary science teachers in implementing scientific inquiry lessons. *International Journal of Science Education*, 26(1), 3–24.
- Rosa, M. I. P., & Rossi, A. V. (Eds.). (2012). *Educação Química no Brasil: memórias, políticas e tendências*. Campinas: Editora Átomo.
- Roxael, F. R., Paiva, N., Raquel, J., & Oliveira, S. (2015). O Trabalho do Cientista nos Cartuns de Sidney Harris: Um Estudo sob a Perspectiva da Sociologia da Ciência. *Química Nova Na Escola*, 37(especial 1), 68–81.
- Rozentalski, E. F. (2013). *O estatuto ontológico e epistemológico do orbital em livros didáticos de química geral no século XX: uma análise de seus fundamentos, suas representações e implicações para a aprendizagem*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Rubega, C. C., & Pacheco, D. (2000). A formação da mão-de-obra para a Indústria Química: uma retrospectiva histórica. *Ciência & Educação*, 6(2), 151–166.
- Rudge, D. W., Cassidy, D. P., Fulford, J. M., & Howe, E. M. (2014). Changes Observed in Views of Nature of Science During a Historically Based Unit. *Science and Education*, 23(9), 1879–1909.
- Rudge, D. W., & Howe, E. M. (2013). Whiter the VNOS. In C. C. Silva & M. E. B. Prestes (Eds.), *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas* (pp. 225–234). São Carlos: Tipographia Editora Expressa.
- Russell, C. A. (Ed.). (1985). *Recent Developments in the History of Chemistry*. London: Royal Society of Chemistry.
- Russell, C. A., & Roberts, G. K. (Eds.). (2005). *Chemical History: Reviews of the Recent Literature*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- Ruthenberg, K. (2016). About the futile dream of an entirely riskless and fully effective remedy: thalidomide. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*,

- 22(1), 55–77.
- Sá, L. P., Francisco, C. A., & Queiroz, S. L. (2007). Estudos de caso em Química. *Química Nova*, 30(3), 731–739.
- Sá, L. P., & Queiroz, S. L. (2010). *Estudos de casos no Ensino de Química*. Campinas: Editora Átomo.
- Saito, F. (2010). História da Ciência e Ensino : em busca de diálogo entre historiadores e educadores. *História Da Ciência E Ensino: Construindo Interfaces*, 1, 1–6.
- Samarapungavan, A., Westby, E. L., & Bodner, G. M. (2006). Contextual epistemic development in science: A comparison of chemistry students and research chemists. *Science Education*, 90(3), 468–495.
- Sánchez-Ron, J. M. (1988). Usos y abusos de la Historia de la Física en la Enseñanza. *Enseñanza de Las Ciencias*, 6(2), 179–188.
- Santos, W. L. P. (2011). A Química e a formação para a cidadania. *Educación Quiíica*, 22(4), 300–305.
- Santos, W. L. P., & Mortimer, E. F. (2002). Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. *ENSAIO - Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 2(2), 1–23.
- Scerri, E. (1999). Instructions for authors. *Foundations of Chemistry*, 1(1), 99–106.
- Scerri, E. (2000a). Philosophy of Chemistry—A New Interdisciplinary Field? *Journal of Chemical Education*, 77(20), 1–4.
- Scerri, E. (2000b). The Failure of Reduction and How to Resist the Disunity of the Sciences in the Context of Chemical Education. *Science & Education*, 9(5), 405–425.
- Scerri, E. (2001). The new Philosophy of Chemistry and its relevance to Chemical Education. *Chemistry Education Research and Practice*, 2(2), 165–170.
- Scerri, E. (2008). *Collected paper on Philosophy of Chemistry*. London: Imperial College Press.
- Scerri, E., & McIntyre, L. (1997). The case for the Philosophy of Chemistry. *Synthese*, 111(3), 213–232.
- Scerri, E., & McIntyre, L. (Eds.). (2015). *Philosophy of Chemistry: Growth of a New Discipline*. Dordrecht-Heidelberg-New York-London: Springer.
- Scheid, N. M. J., Ferrari, N., & Delizoicov, D. (2007). Concepções sobre a Natureza da Ciência num curso de Ciências Biológicas: imagens que dificultam a Educação Científica. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 12(2), 157–181.
- Schnetzler, R. P. (2012). Educação Química no Brasil: 25 anos de ENEQ - Encontro Nacional de Ensino de Química. In M. I. P. Rosa & A. V. Rossi (Eds.), *Educação*

- Química no Brasil: memórias, políticas e tendências* (pp. 17–38). Campinas: Editora Átomo.
- Schramm, F. R. (1998). Bioética e Biossegurança. In S. Costa, G. Oselka, & V. Garrafa (Eds.), *Iniciação à bioética* (pp. 217–242). Brasília: Conselho Federal de Medicina.
- Schummer, J. (1997a). Scientometric studies on chemistry I: the exponential growth of chemical substances, 1800-1995. *Scientometrics*, 39(1), 107–123.
- Schummer, J. (1997b). Scientometric studies on chemistry II: aims and methods of producing new chemical substances. *Scientometrics*, 39(1), 125–140.
- Schummer, J. (1999). Coping with the growth of chemical knowledge: challenges for chemistry documentation, education, and working chemists. *Educación Química*, 10(2), 92–101.
- Schummer, J. (2001a). EDITORIAL. Ethics of chemistry, part 1. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 7(2), 83–84.
- Schummer, J. (2001b). Ethics of chemical synthesis. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 7(2), 103–124.
- Schummer, J. (2002). EDITORIAL. Ethics of chemistry, part 2. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 8(1), 3–4.
- Schummer, J. (2006). The philosophy of chemistry: from infancy toward maturity. In D. Baird, E. Scerri, & L. McIntyre (Eds.), *Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline* (pp. 19–39). Dordrecht: Springer.
- Schummer, J. (2016). “Are You Playing God ?”: synthetic biology and the chemical ambition to create artificial life. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 22(2016), 149–172.
- Schwartz, R. S., & Crawford, B. A. (2006). Authentic scientific inquiry as context for teaching nature of science - Identifying critical elements for success. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific Inquiry and Nature of Science - Implications for Teaching, Learning and Teacher Education* (pp. 331–355). Dordrecht: Springer.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G., & Abd-El-Khalick, F. (2012). A series of misrepresentations: A response to Allchin’s whole approach to assessing nature of science understandings. *Science Education*, 96(4), 685–692.
- Severino, A. J. (2009). Desafios atuais do ensino da Filosofia. In R. Trentin & R. Goto (Eds.), *A filosofia e seu ensino: caminhos e sentidos* (pp. 17–34). São Paulo: Edições Loyola.
- Siegel, H. (1979). On the distortion of the History of Science in Science Education. *Science Education*, 63(1), 111–118.
- Silva, A. C. T. (2008). *Estratégias enunciativas em salas de aula de Química:*

- contrastando professores de estilos diferentes*. Tese de Doutorado, Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Silva, A. C. T., & Mortimer, E. F. (2010). Caracterizando estratégias enunciativas em uma sala de aula de química: aspectos teóricos e metodológicos em direção à configuração de um gênero do discurso. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 15(1), 121–153.
- Silva, C. C., & Moura, B. A. (2008). A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30(1), 1602.1-1602.10.
- Silva, J. A., & Bianchi, M. L. P. (2001). Cientometria: a métrica da ciência. *Paidéia*, 11(21), 5–10.
- Silva, N. S., & Aguiar, O. (2008). O uso dos conceitos de elemento e substância por estudantes do ensino fundamental: uma perspectiva de análise sociocultural. *Revista Brasileira de Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 8(3), 1–17.
- Silveira, F. L. (1992). A Filosofia da ciência e o ensino de ciências. *Em Aberto*, 11(55), 36–41.
- Silveira, F. L. (1996a). A filosofia da ciência de Karl Popper: o racionalismo crítico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física. Florianópolis. ...*, 13(3), 197–218.
- Silveira, F. L. (1996b). A metodologia dos programas de pesquisa: a epistemologia de Imre Lakatos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 13(3), 219–230.
- Silveira, R. J. T. (2007). Teses sobre o ensino de Filosofia no nível médio. In R. J. T. Silveira & R. Goto (Eds.), *Filosofia no ensino médio: Temas, problemas e propostas* (pp. 77–118). São Paulo: Edições Loyola.
- Sjöström, J. (2006). Beyond Classical Chemistry: Subfields and Metafields of the Molecular Sciences. *CHEMISTRY International*, 28(5), 9–15.
- Sjöström, J. (2007). The discourse of chemistry (and beyond). *Hyle*, 13(2), 83–97.
- Sjöström, J. (2013). Towards Bildung-Oriented Chemistry Education. *Science & Education*, 22(7), 1873–1890.
- Slezak, P. (1994a). Sociology of Scientific Knowledge and Science Education: Part I. *Science & Education*, 3(3), 265–294.
- Slezak, P. (1994b). Sociology of Scientific Knowledge and Science Education Part 2: Laboratory life under the microscope. *Science & Education*, 3(4), 329–355.
- Smith, M. U., Lederman, N. G., Bell, R. L., McComas, W. F., & Clough, M. P. (1997). How great is the disagreement about the nature of science: A response to Alters. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(10), 1101–1103.
- Smith, M. U., & Scharmann, L. C. (1999). Defining versus describing the nature of science: A pragmatic analysis for classroom teachers and science educators.

- Science Education*, 83(4), 493–509.
- Stemwedel, J. D. (2016). The case of the finicky reactions: a case study of trust, accountability, and misconduct. *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, 22(2016), 9–29.
- Steneck, N. H. (1994). Research universities and scientific misconduct: history, policies and the future. *The Journal of Higher Education*, 65(3), 310–330.
- Steneck, N. H. (2006). Fostering integrity in research: definition, current knowlege, and future directions. *Science and Engineering Ethics*, 12(1), 53–74.
- Stokes, D. E. (1997). *Pasteur's quadrant: basic science and technological innovation*. Washington: Brookings Institution Press.
- Sullenger, K., & Turner, S. (1998). Nature of Science: Implication for Education an Undergratuade Course for prospective teachers. In W. F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education - Rationales and strategies* (pp. 243–253). New York-Boston-Dordrecht-London-Moscow: Kluwer Academic Publisher.
- Taber, K. S. (2003). The atom in the chemistry curriculum: fundamental concept, teaching model or epistemological obstacle? *Foundations of Chemistry*, 5(1), 43–84.
- Taber, K. S. (2014). Methodological Issues in Science Education Research: A perspective from the Philosophy of Science. In M. R. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1839–1893). Dordrecht-Heidelberg-London-New York: Springer.
- Talanquer, V., & Pollard, J. (2010). Let's teach how we think instead of what we know. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(2), 74.
- Teixeira, E. S., El-Hani, C. N., & Freire Jr., O. (2001). Concepções de estudantes de física sobre a natureza da ciência e sua transformação por uma abordagem contextual do Ensino de Ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 1(111–123).
- Teixeira, E. S., Freire Jr., O., & El-Hani, C. N. (2009). A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da Natureza da Ciência de estudantes de Física. *Ciência & Educação*, 15(3), 529–556.
- Teixeira, E. S., Greca, I. M., & Freire Jr., O. (2012). Uma revisão sistemática das pesquisa publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física. In L. O. Q. Peduzzi, A. F. P. Martins, & J. M. H. Ferreira (Eds.), *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino* (pp. 9–40). Natal: EDUFRN.
- Terry, D. R. (2012). The “Case” for Critical Thinking. In C. F. Herreid, N. A. Schiller, & K. F. Herreid (Eds.), *Science Stories: Using Case Studies to Teach Critical Thinking* (pp. 25–34). Arlington, Virginia: National Science Teachers Association.
- Thalos, M. (2013). The Lens of Chemistry. *Science & Education*, 22(7), 1707–1721.

- Tobaldini, B. G., Castro, L. P. V., Justina, L. A. D. J., & Meghioratti, F. A. (2011). Aspectos sobre a natureza da ciência apresentados por alunos e professores de licenciatura em ciências biológicas. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 10(3), 457–480.
- Tobin, E. (2013). Chemical Laws, Idealization and Approximation. *Science & Education*, 22(7), 1581–1592.
- Tolvanen, S., Jansson, J., Vesterinen, V., & Aksela, M. (2014). How to Use Historical Approach to Teach Nature of Science in Chemistry Education? *Science & Education*, 23(8), 1605–1636.
- Toma, H. E., Ferreira, A. M. C., & Serra, O. A. (2002). Desenvolvimento da Química Inorgânica no Brasil. *Química Nova*, 25(supl. 1), 67–74.
- Tomazetti, E. M. (2007). A relação dos jovens com a Filosofia no Ensino Médio. *Philosophos*, 12(1), 57–78.
- Tomazetti, E. M. (2009). Sobre ensino, aprendizagem e resistência na aula de Filosofia do Ensino Médio. *Revista Sul-Americana de Filosofia E Educação*, (13), 41–53.
- Turner, R. S. (1971). The growth of professorial research in Prussia, 1818 to 1848- Causes and Context. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 3, 137–182.
- Valera, M., Lopez, C., Garcia, S., Gil, J., Frutos, J., Iniesta, M. A., & Maset, P. (1983). Intuición e Historia de las Ciencias en la Enseñanza. *Enseñanza de Las Ciencias*, 5(1), 3–8.
- van Berkel, B., de Vos, W., & Pilot, A. (2000). Normal Science Education and its Dangers : The Case of School Chemistry. *Science & Education*, 9(1–2), 123–159.
- Vázquez-Alonso, Á., & Manassero-Mas, A. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 1): Una revisión de las aportaciones de la investigación didáctica. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 9(1), 2–31.
- Vázquez-Alonso, Á., & Manassero-Mas, M. A. (1999). Características del conocimiento científico: creencias de los estudiantes. *Enseñanza De Las Ciencias*, 17(3), 377–395.
- Vázquez-Alonso, Á., & Manassero-Mas, M. A. (2013). La comprensión de un aspecto de la naturaleza de ciencia y tecnología: Una experiencia innovadora para profesores en formación inicial. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 10(Extraordinario), 630–648.
- Vázquez-Alonso, Á., Manassero-Mas, M. A., Acevedo-Díaz, J. A., & Acevedo-Romero, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la Ciencia: la comunidad tecnocientífica. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 6(2), 331–363.
- Vázquez-Alonso, Á., Manassero-Mas, M. A., Acevedo-Díaz, J. A., & Acevedo-Romero,

- P. (2008). Consensos sobre a Natureza da Ciência: A Ciência e a Tecnologia na Sociedade. *Química Nova Na Escola*, 27(27), 34–50.
- Vázquez-Alonso, Á., Manassero-Mas, M. A., & Talavera, M. (2010). Actitudes y creencias sobre naturaleza de la ciencia y la tecnología en una muestra representativa de jóvenes estudiantes. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 9(2), 333–352.
- Veneu, A., Ferraz, G., & Rezende, F. (2015). Análise de discursos no Ensino de Ciências: considerações teóricas, implicações epistemológicas e metodológicas. *ENSAIO – Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 17(1), 126–149.
- Vesterinen, V., Massanero-Mas, M., & Vázquez-Alonso, Á. (2014). History, Philosophy, and Sociology of Science and Science-Technology-Society traditions in Science Education: continuities and discontinuities. In M. R. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1895–1925). Dordrecht-Heidelberg-New York-London: Springer.
- Vhurumuku, E. (2011). High School Chemistry students' scientific epistemologies and perceptions of the nature of laboratory inquiry. *Chemistry Education Research and Practice*, 12, 47–56.
- Viana, H. E. B., & Porto, P. A. (2012). O desenvolvimento de novas substâncias na primeira metade do século XX: o caso de Thomas Midgley, Jr. *Circumscribere: International Journal for the History of Science*, 12(2), 16–30.
- Vidal, P. H. O., Cheloni, F. O., & Porto, P. A. (2007). O Lavoisier que não está presente nos livros didáticos. *Química Nova Na Escola*, 26, 29–32.
- Vilaça, M. M. (2015). Más condutas científicas: uma abordagem crítico-comparativa para informar uma reflexão sobre o tema. *Revista Brasileira de Educação*, 20(60), 245–269.
- Vilas Boas, A., Silva, M. R., Passos, M. M., & Arruda, S. D. M. (2013). História da ciência e natureza da ciência: debates e consensos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 30(2), 287–322.
- Vilches, A., & Gil-Pérez, D. (2013). Creating a Sustainable Future: Some Philosophical and Educational Considerations for Chemistry Teaching. *Science & Education*, 22(7), 1857–1872.
- Villani, A. (2001). Filosofia da Ciência e ensino de Ciência: uma analogia. *Ciência & Educação*, 7(2), 169–181.
- Villani, A. (2007). Uma contribuição da Filosofia da Ciência para a Educação em Ciências. In R. M. R. Borges (Ed.), *Filosofia e História da Ciência no contexto da Educação em Ciências: vivências e teorias*. Porto Alegre: EDIPUCRS.
- Villani, A., Barolli, E., Fagundes, M., & Yamazaki, S. C. (1997). Filosofia da Ciência, História da Ciência e Psicanálise: analogias para o ensino de ciências. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 14(1), 37–55.

- Vital, A., & Guerra, A. (2014). A natureza da ciência no ensino de Física : estratégias didáticas elaboradas por professores egressos do mestrado profissional. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 31(2), 225–257.
- Weinstein, M. (2008). Finding science in the school body: Reflections on transgressing the boundaries of Science Education and the Social Studies of Science. *Science Education*, 92(3), 389–403.
- Whitaker, M. A. B. (1979a). History and quasi-history in physics education-part 1. *Physics Education*, 14(2), 108–112.
- Whitaker, M. A. B. (1979b). History and quasi-history in physics education-part 2. *Physics Education*, 14(4), 239–242.
- Wilson, J., & Cowell, B. (1982). Methods of Subject-Teaching: a challenge to current thinking. *Westminster Studies in Education*, 5(1), 37–41.
- Winter, O. C., & Melo, C. F. (2007). O Sputnik. In O. C. Winter & A. F. B. A. Prado (Eds.), *A Conquista do Espaço: do Sputnik à Missão Centenário*. São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Yin, R. K. (2001). *Estudo de caso: planejamento e métodos* (2 ed.). Porto Alegre: Bookman.
- Zanetic, J. (1989). *Física também é cultura*. (Tese de Doutorado). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Zemplén, G. A. (2009). Putting Sociology First-Reconsidering the Role of the Social in “Nature of Science” Education. *Science & Education*, 18(5), 525–559.
- Ziman, J. (1979). *Conhecimento Público*. Belo Horizonte-São Paulo: Ed. Etatiaia e Ed. da Universidade de São Paulo.
- Ziman, J. (1981). *A força do conhecimento*. Belo Horizonte-São Paulo: Ed. Etatiaia e Ed. da Universidade de São Paulo.
- Zuben, N. A. V. (1992). Filosofia e Educação: atitude filosófica e a questão da apropriação do filosofar. *Pro-Posições*, 3(2), 7–27.

APÊNDICE 1 – Termo de consentimento livre e esclarecido

Eu, _____, concordo em participar, como voluntário/a, da pesquisa intitulada *Em direção à discussão explícita sobre a Química no ensino: promovendo aspectos da ética química*, que tem como pesquisador responsável Evandro Fortes Rozentalski, doutorando do Programa Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, orientado pelo Prof. Dr. Paulo Alves Porto, os quais podem ser contatados pelos e-mails rozentalski@usp.br e palporto@iq.usp.br, ou telefone (11) 3091-1523.

A pesquisa tem como objetivos:

- Promover discussões explícitas sobre temas da Filosofia da Química no Ensino de Química, em especial, aspectos éticos presentes na atividade dos químicos, entre futuros químicos/as e professores/as de química;
- Avaliar os benefícios, limitações e dificuldades envolvidos no tema escolhido, bem como avaliar as estratégias adotadas para essa finalidade.

Minha participação consistirá em conceder o direito de uso da minha imagem e áudio que serão registrados em vídeo durante as aulas, as transcrições resultantes desse registro e as respostas escritas das atividades realizadas. Compreendo que as imagens, transcrições e respostas serão utilizadas exclusivamente para fins de pesquisa acadêmica e que os dados não serão utilizados para exposição dos sujeitos envolvidos, sendo a minha imagem e identidade preservadas. Além disso, compreendo que todas as informações coletadas neste estudo são estritamente confidenciais, sendo que somente o pesquisador e o orientador terão conhecimento da relação entre a identidade dos participantes e os dados. Compreendo que esse estudo possui finalidade de pesquisa, e que os dados obtidos serão divulgados seguindo as diretrizes éticas da pesquisa, assegurando, assim, minha privacidade. Sei que posso retirar meu consentimento quando eu quiser, e que não receberei nenhum pagamento por essa participação.

Assim, declaro que sou maior de idade e que minha participação é voluntária, não havendo nenhum tipo de despesa, remuneração ou compensação pelo uso dos vídeos, áudios e textos produzidos. E AUTORIZO, exclusivamente para fins acadêmicos, a utilização total ou parcial dos vídeos, áudios e respostas às atividades, produzidos durante minha participação na pesquisa.

Assinatura

São Paulo, __ de _____ de 20__.

APÊNDICE 2 – Questionário Concepções prévias sobre ética química

PERFIL

1. Nome: _____ 2. Idade: _____
3. Curso: _____ 4. Ano de ingresso: _____
5. Porcentagem do curso concluída: () Menos de 25% () Entre 25% e 50%
() Mais de 50% e menos de 75% () Acima de 75%
6. Coursou ou cursa atualmente outra graduação?
() Sim Qual(is)? _____ Completou? _____
() Não
7. Você já atua como professor?
() Sim Há quanto tempo? _____
() Não
8. Você já participou de algum seminário, oficina ou minicurso relacionado à Ética na Ciência?
() Sim () Não
9. Caso tenha respondido sim na pergunta anterior (item 8), quais conteúdos, temas ou ideias você se recorda que foram discutidos?
10. Você já participou de algum seminário, oficina ou minicurso relacionado à Ética na Química? () Sim () Não
11. Caso tenha respondido sim na pergunta anterior (item 10), quais conteúdos, temas ou ideias você se recorda que foram discutidos?
12. Você teve contato com discussões relacionados à Ética na Ciência ou Ética na Química em contextos diferentes dos mencionados nos itens 8 e 10?
() Sim Em quais situações? _____
() Não
13. Caso tenha respondido sim na pergunta anterior (item 12), quais conteúdos, temas ou ideias você se recorda que foram discutidos?

4. Você acha que os químicos podem enfrentar questões éticas peculiares, diferentes das enfrentadas por outros cientistas (por exemplo, físicos ou biólogos)? Explique.

5. Você considera importante aprender sobre a ética na química? Justifique.

APÊNDICE 3 – Roteiro de leitura Thomas Midgley, Jr.

Nome: _____

QUESTÕES

1. O médico Robert Kehoe era pesquisador na Universidade de Cincinnati, localizada no mesmo Estado (Ohio, EUA) que a sede da *Ethyl Corporation*, e que recebia financiamento dessa empresa para diversos projetos. Você acha que o fato de Kehoe ser contratado pela *Ethyl Corporation* pode ter influenciado a opinião dele sobre os riscos oferecidos pelo tetraetilchumbo? Comente.

2. A *Ethyl Corporation* tinha interesse na comercialização do tetraetilchumbo, e realizou estudos científicos que apontavam para a segurança no uso dessa substância. Em sua opinião, deve haver algum tipo de regulamentação para a fabricação e a venda de inovações produzidas pela indústria química? Se não, por quê? Se sim, como poderia ser essa regulamentação? Explique.

3. No momento em que Midgley e Henne concluíram que os CFCs seriam ótimos fluidos para a indústria de refrigeração, eles não tinham como saber que esses compostos representavam riscos para a camada de ozônio. Você acha que eles foram imprudentes? É possível prever todos os riscos oferecidos pelas novas substâncias sintetizadas pelos químicos, e que têm aplicações práticas? Como lidar simultaneamente com inovações tecnológicas representadas por novas substâncias, e com a precaução necessária para não expor as pessoas e o ambiente ao risco?

Referência

Viana, H. E. B., & Porto, P. A. (2012). O desenvolvimento de novas substâncias na primeira metade do século XX: o caso de Thomas Midgley, Jr. *Circumscribere: International Journal for the History of Science*, 12(2), 16–30.

APÊNDICE 4 – Caso hipotético: *Próximo ao limite*

Nomes: _____

Próximo ao limite

A *Mundo Verde* é uma empresa de análises ambientais, que recebe amostras de empresas estatais e privadas de todo o país, visando avaliar a presença e a quantidade de uma série de agentes químicos e biológicos. Mariana é uma das químicas que trabalham na *Mundo Verde*, e trabalha na unidade de análise da água, especializada na quantificação de traços de substâncias químicas em água. Ela tem realizado análises em uma represa próxima à indústria química *QuimiCorp* nos últimos anos, constatando um aumento gradual na concentração de uma substância química particular. O nível máximo aceitável para essa substância na água é de 5,0 ppm (partes por milhão), sendo que a concentração verificada por Mariana está se aproximando desse limite. Acima dessa concentração, a Fundação Pública para o Saneamento e Ambiente (PSA), órgão governamental de fiscalização, deve ser contatada para investigar o local.

No último mês, um conjunto de amostras chegou à unidade de Mariana e as análises preliminares indicaram problemas. As três análises realizada até aquele momento apontaram concentrações de 4,3 , 4,2 e 5,1 ppm. Geralmente, os resultados apresentam valores diferentes, mas nunca antes um deles havia ultrapassado o nível máximo aceitável. Quando Mariana mostrou esses resultados para seu superior, este argumentou que, como a média dos resultados estava abaixo do nível máximo aceitável, nada precisaria ser feito. Preocupada por um dos resultados estar acima do limite, Mariana perguntou a seu superior, responsável pela administração do laboratório, se poderia solicitar mais amostras da represa para realizar novas análises, com o intuito de assegurar que a concentração era segura. Entretanto, seu superior não autorizou as novas análises, pois, segundo ele, isso custaria muito tempo e dinheiro. Mariana continuou preocupada com a situação, pois a represa em questão era uma das fontes de abastecimento de água para a população de sua cidade. Mariana cogitou comunicar o caso à PSA, mas estava ciente de que, caso esse órgão fiscalizador identificasse alguma irregularidade no procedimento da *Mundo Verde* e multasse a empresa, seu superior possivelmente a demitiria.

QUESTÕES

1. Procure identificar todas as possíveis ações (decisões) que Mariana pode tomar, incluindo as ações com as quais você não concorda.

2. Para cada uma das ações, quais são as possíveis consequências para Mariana? Quais as consequências para a empresa em que ela trabalha? E quais as consequências para a sociedade?

3. Dentre todas as possíveis ações, qual você escolheria? Explique sua escolha.

APÊNDICE 5 – Caso hipotético: *Sumiço de uma substância venenosa*

Nomes: _____

Sumiço de uma substância venenosa

Eduardo é um químico orgânico, e está buscando desenvolver uma nova rota sintética para a classe de compostos que ele estuda. As rotas sintéticas disponíveis envolvem várias etapas, e resultam em baixos rendimentos. Depois de inúmeras tentativas, Eduardo consegue obter uma nova rota sintética que envolve menos etapas e produz melhores rendimentos. Em uma das novas etapas, ele produz uma substância inexistente na Natureza. Eduardo realiza alguns testes com a nova substância e, dentre as propriedades determinadas, verifica que tal substância é extremamente tóxica. Como seu interesse é aperfeiçoar a rota sintética, ele guarda a substância, em um frasco devidamente identificado com o nome e a fórmula, em um local seguro do laboratório, caso seja necessário recorrer novamente à substância para elucidar a etapa na qual ela é produzida. No decorrer de alguns meses, Eduardo aperfeiçoa de tal maneira a sua rota a ponto de não mais precisar produzir a substância tóxica. Satisfeito com o resultado, Eduardo decide descartar a substância tóxica produzida anteriormente, por conta da sua periculosidade. Ele procura por todo o laboratório, mas não encontra o frasco que continha a substância tóxica. Depois de alguns dias de busca, Eduardo se conforma com o sumiço da substância, pois acredita que está no laboratório e cedo ou tarde ela aparecerá. Pouco tempo depois, Eduardo descobre que Miguel, uma das pessoas responsáveis pela limpeza do laboratório, está gravemente doente, sendo tratado em um hospital. Miguel acredita ter se intoxicado depois que, durante uma limpeza, sem ter a intenção, derrubou e quebrou um frasco no laboratório. Nessa ocasião, o funcionário procurou limpar tudo sem, entretanto, ter tomado precauções de segurança.

QUESTÕES

1. Identifique todas as partes envolvidas que culminaram na intoxicação do funcionário encarregado da limpeza do laboratório, e descreva a responsabilidade de cada uma delas nesse episódio. Outras pessoas, além das mencionadas no texto, também podem ser responsabilizadas? Justifique.

2. Você considera que há um “culpado” ou “culpados” na situação descrita? Explique.

APÊNDICE 6 – Questionário Avaliação sobre ética química

Nome: _____

QUESTÕES

1. Quais os possíveis riscos envolvidos na produção de uma nova substância química? Como poderíamos proceder para minimizar os riscos envolvidos?

2. Os químicos sintéticos, seja como indivíduos ou comunidade, são responsáveis por quaisquer possíveis danos ambientais causados pelas novas substâncias químicas? Mesmo quando estas não são introduzidas no ambiente ou não são comercializadas, os químicos ainda são responsáveis por elas? Justifique.

3. As discussões sobre ética na Química realizadas ao longo das aulas modificaram sua compreensão inicial sobre tema? Se sim, de que modo isso ocorreu? Se não, por que isso não ocorreu?

4. Faça os comentários que quiser sobre as aulas e atividades sobre ética química (sugestões, críticas, pontos que poderiam ser melhorados, o que gostou ou não gostou, etc.). Sinta-se à vontade para opinar – sua opinião é muito importante para que a gente possa melhorar!

