



SOBRE A NATUREZA DA CIÊNCIA: ASSERÇÕES COMENTADAS PARA UMA ARTICULAÇÃO COM A HISTÓRIA DA CIÊNCIA

On the Nature of Science: commented propositions for an articulation with the history of science

Luiz O. Q. Peduzzi [luizpeduzzi@gmail.com]

*Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Florianópolis, Santa Catarina, Brasil*

Anabel Cardoso Raicik [anabelraicik@gmail.com]

*Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica (Egressa)
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Florianópolis, Santa Catarina, Brasil*

Resumo

Um dos objetivos da educação científica, na atualidade, em qualquer nível de ensino, é o de propiciar uma compreensão de natureza da ciência compatível com reflexões filosóficas contemporâneas. Todavia, discussões implícitas sobre a ciência em materiais de ensino não são suficientes para promover um aprendizado significativo e atual do tema. A literatura mostra que é preciso desenvolver estratégias que tornem explícitas certas proposições, ou questionamentos. Em geral, princípios descontextualizados e declarativos, de enunciados sucintos e passíveis de ambiguidade, presentes em listas que reúnem aspectos teoricamente consensuais sobre a natureza da ciência, com frequência são distorcidos e mal compreendidos por estudantes e professores. Nesse sentido, este artigo apresenta uma série de 18 asserções comentadas, que explicitam entre si sobreposições e convergências, assim como divergências, como uma alternativa potencialmente útil para a abordagem de vários aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no ensino. Além disso, contextualiza a gênese dessas proposições, desenvolvidas inicialmente para serem articuladas a um conjunto de textos sobre a história da ciência/física, mas que se mostram igualmente profícuas para um vínculo e contraste com produções históricas da ciência em geral, análises epistemológicas de filmes, séries/vídeos, hiper mídias, documentos e narrativas históricas e outras ações que visem uma melhor compreensão e aprofundamento desta temática no universo de estudantes, professores e pesquisadores em formação.

Palavras-Chave: Educação Científica; Natureza da Ciência; História da Ciência.

Abstract

One of the objectives of scientific education, at the present time, at any level of education is to provide an understanding of the nature of science compatible with contemporary philosophical reflections. However, implicit discussions about science in teaching materials are not enough to promote meaningful and current learning of the subject. The literature shows that it is necessary to develop strategies that make explicit certain propositions, or questions. In general, decontextualized and declarative principles of succinct and ambiguous statements present in lists that combine theoretically consensual aspects about the nature of science are often distorted and misunderstood by students and teachers. In this sense, this article presents a series of 18 commented statements, which explain overlaps and convergences, as well as divergences, as a potentially useful alternative to approach various aspects of the nature of science and scientific work in teaching. In addition, it contextualizes the genesis of these propositions, initially developed to be articulated to a set of texts on the history of science / physics, but which are equally useful for a link and contrast with historical productions of science in general, epistemological analyzes of films , series / videos, hypermedia, historical documents and narratives and other actions aimed at a better understanding and deepening of this theme in the universe of students, professors and researchers in formation.

Keywords: Scientific Education; Nature of Science; History of Science.

INTRODUÇÃO

Um dos objetivos da educação científica na atualidade, em qualquer nível de ensino, é o de promover uma compreensão de natureza da ciência compatível com reflexões filosóficas contemporâneas (Abd-El-Khalich, 2005; Clough, 2007; Martins, 2015; Matthews, 1995; McComas, 2002). Entretanto, isso não é matéria trivial por várias razões. Uma delas é a de que há, na literatura, diferentes conceitos e/ou definições sobre o que se deve entender por natureza da ciência. Se por um lado essa pluralidade amplia horizontes para a discussão e a reflexão do tema sob diversas perspectivas, de outro ela pode trazer riscos à perda de objetividade sobre o assunto. Na raiz dessa problemática está a própria conceituação do que é ciência, que não reúne consenso, como mostra, por exemplo, Alan Chalmers (1999) em “O que é ciência afinal”.

Decerto, é legítima a procura por critérios que buscam conferir identidade aos interesses mantidos por comunidades de diferentes tradições de conhecimento. Contudo, o estabelecimento de linhas demarcatórias claras e inequívocas entre elas, muitas vezes, parece ser mais utopia do que realidade. É fato que os cientistas (e os alquimistas, os astrólogos, os pajés, os magos...) reconhecem-se uns aos outros, este não é o problema. Não obstante, a própria ciência abriga diferentes matérias e dentro de campos específicos do conhecimento a práxis científica é plural, o que inviabiliza tentar extrair dessa praxe uma “*realidade homogênea, uma essência, a unidade do todo*” (Lopes, 1996, p. 254). Ademais, esse processo é histórico, muda com o tempo.

No âmbito de uma perspectiva mais abrangente, pode-se dizer que “*a natureza da ciência envolve um arcabouço de saberes sobre as bases epistemológicas, filosóficas, históricas e culturais da ciência*” (Moura, 2014, p. 33), ou que

“O conceito de NdC [natureza da ciência] engloba uma variedade de aspectos sobre o que é a ciência, seu funcionamento interno e externo, como constrói e desenvolve o conhecimento que produz, os métodos que usa para validar esse 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 para a cultura e o progresso da sociedade” (Vásquez-Alonso et al., 2008, p. 34).

Assim, a natureza da ciência está relacionada, mas não é sinônimo e nem é idêntica, a história e a filosofia da ciência. Trata-se de “*um domínio híbrido que mistura aspectos de vários estudos sociais da ciência, que inclui a sociologia, filosofia e história da ciência, que ainda se combinam com pesquisa das ciências cognitivas, como a psicologia*” (McComas, 2008, p. 249). Esse amálgama leva a uma análise e a “*uma rica descrição da ciência; como ela funciona, como os cientistas operam enquanto grupo social e como a própria sociedade tanto direciona como reage ao empreendimento científico*” (p. 249).

Com frequência, a natureza da ciência se refere, essencialmente, “*aos valores e suposições inerentes ao desenvolvimento científico*” (Lederman, 1992, p. 332). Esse aporte mais reducionista, com maior foco nos processos internos da ciência, não diminui a sua complexidade.

Outra dificuldade desse assunto, não menos importante, está no seu ensino e aprendizagem. As pesquisas sobre a natureza da ciência, em termos gerais, podem ser divididas em quatro linhas distintas, mas relacionadas: a) avaliação das concepções de estudantes sobre a natureza da ciência; b) desenvolvimento, uso e avaliação de currículos para melhorar o entendimento dos estudantes sobre a natureza da ciência; c) avaliação das concepções de professores sobre a natureza da ciência, e das tentativas de melhorá-las; d) identificação das relações entre as concepções dos professores, a prática em sala de aula e as concepções dos estudantes (Lederman, 1992).

Essas preocupações de pesquisa, e seus resultados, deixam claro que não só estudantes, mas também professores possuem concepções inadequadas e limitadas sobre a natureza da ciência. Isso representa mais um elemento a ser devidamente considerado na sempre tensa e polêmica questão da formação de professores e bacharéis. O tema é difícil, delicado, pois no âmbito das ciências naturais exige respostas a questões que um ensino centrado na resolução de problemas de lápis e papel e em atividades de laboratório pouco reflexivas não pode dar. Saber a ciência (o conteúdo científico) é condição necessária, e indispensável, mas não suficiente para saber sobre a ciência, sobre a natureza do empreendimento científico.

Embora existam na literatura diferentes enfoques para incorporar a NdC no ensino, como em discussões sobre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) (Spector, Strong & LaPorta, 1998) e em estratégias educativas que exploram e reproduzem, em alguma medida, a prática científica, o ‘fazer ciência’ (Abd-El-Khalick *et al.*, 2004; Bell *et al.*, 2003), uma alternativa bastante eficaz e reiteradamente utilizada por seu potencial didático é a História e Filosofia da Ciência (Abd-El-Khalick, 2013; Boaro & Massoni, 2018; Forato, Pietrocola & Martins, 2011; Jorge, 2018; Moura, 2014; Peduzzi, 2005; Raicik, 2019; Sobieciak, 2017).

Não há dúvida de que a compreensão e o domínio de um assunto proporcionam respostas coerentes, fundamentadas, que se contrapõem ao senso comum, via de regra, fonte de contradições e de erros por não conseguir ir além do argumento intuitivo. A experiência primeira, que se satisfaz com os ‘fatos’ irrefletidos de um empirismo evidente, “*que afirma receber suas lições diretamente do dado claro, nítido, seguro*” (Bachelard, 1996, p. 29) e que “*substitui o conhecimento pela admiração, as ideias pelas imagens*” (p. 36), é uma experiência fechada em si mesma, um obstáculo à cultura científica. É preciso estar suficientemente instrumentalizado para ser capaz de entender, entre outras coisas: a) o papel da criatividade, da colaboração, do acaso, da sagacidade, na ciência; b) a função dos modelos científicos; c) a distinção entre hipóteses, leis e teorias d) a relação entre experimentação e constructos teóricos; e) a não neutralidade das observações; f) em que consiste uma explicação científica; g) que as hipóteses e as teorias não podem ser definitivamente provadas; h) que a subjetividade inerente à construção de conhecimentos exclui a sua absoluta e irrestrita objetividade; i) a existência de valores, epistêmicos ou não, na escolha teórica.

O conhecimento científico é tentativo (conjectural, inconclusivo; não há verdades absolutas); testável (sujeita-se ao teste empírico); replicável (passível de reprodução), histórico (muda com o tempo); criativo (inventivo, imaginativo); parcimonioso (procura a simplicidade da explicação, em oposição à complexidade); unificador (promove uma teia de inter-relações entre conceitos, leis, teorias); público (divulgado, transmitido, coletivo).

Ter um melhor entendimento da ciência e seus processos implica em reconhecê-la não apenas como um corpo de conhecimento bem estruturado, mas como uma maneira de ver, pensar e entender o mundo e seus fenômenos, que influencia e é influenciada pelas tradições de conhecimento e de cultura onde ela é praticada.

Todavia, discussões implícitas sobre a ciência em materiais de ensino não são suficientes para promover um aprendizado significativo e atual do tema (Massoni, 2010). A literatura mostra que é preciso desenvolver estratégias que tornem explícitas certas proposições, ou questionamentos (Clough, 2007; Martins, 2015), sobre a natureza da ciência; para que o contraste das mesmas com as concepções prévias do aluno fortaleça e incremente o consenso, quando ele existir, e corrija as distorções e limitações, quando necessário, através da argumentação ponderada que, sem impor, respeita o pensamento divergente. Neste caso, ao não se tratar o aluno como uma *tabula rasa* (folha de papel em branco), pode-se potencializar a evolução conceitual-epistemológica de suas concepções.

Essas discussões se mostram importantes não apenas entre professores (e bacharéis) em formação, mas também no âmbito da formação continuada de professores e pesquisadores, seja em cursos extracurriculares ou em programas de pós-graduação. Inegavelmente, há sempre uma concepção epistemológica envolvida em qualquer situação de ensino, e é necessário ter consciência disso.

Em geral, princípios descontextualizados e declarativos, de enunciados sucintos e passíveis de ambiguidade, presentes em listas que reúnem aspectos teoricamente consensuais sobre a natureza da ciência, com frequência são distorcidos e mal compreendidos por estudantes e professores. Assim, não surpreende que na literatura haja várias estratégias para uma abordagem mais eficaz da NdC, como as de Irzik e Nola (2011) (“Semelhança Familiar”), Matthews (2012) (“Características da Ciência”), Allchin (2011; 2012) (“Whole Science”), Martins (2015) e Clough (2007), os dois últimos através de temas e questões.

Neste artigo, apresenta-se um conjunto de asserções sobre a natureza da ciência associadas a comentários específicos que visam favorecer a reflexão do tema, e que com esta identidade não se sujeita às críticas comumente dirigidas a listas, pouco ou nada fundamentadas, de princípios gerais. Reconhece-se que as concepções epistemológicas dos diversos autores que fundamentam essas discussões contemplam divergências, por vezes irreconciliáveis, mas que, longe de se constituírem em obstáculos, podem e devem ser exploradas no âmbito de uma ciência plural, dinâmica e democrática. Outrossim, essas diferentes perspectivas filosóficas não deixam de mostrar profícuas interseções, como – mas não somente – em suas críticas ao

empirismo lógico. A busca por determinados consensos é, sem dúvida, possível, mas além de limitadora pode não ser a melhor alternativa para o estabelecimento de uma imagem mais atual e menos distorcida da ciência, em termos epistemológicos. Tal como em uma relação de incerteza entre variáveis canonicamente conjugadas, a maior clareza em torno de certos consensos torna bem mais difusa a realidade de uma ciência que não se deixa apreender pela simplicidade.

No marco dos três eixos centrais de uma pesquisa – teórico (epistemológico), educacional e metodológico (Moreira, 2004) –, importa ressaltar que a primeira parte do artigo se restringe a considerações epistemológicas acerca da ciência. As asserções comentadas, embora abrangentes, não são sinônimos de consensuais. Longe de esgotarem o assunto – com efeito, nenhum conjunto limitado de asserções sobre tema tão intrincado e sutil poderia ter essa pretensão – não são independentes umas das outras. Elas explicitam sobreposições e convergências, assim como divergências, entre si. Isso é natural, já que a ciência é um empreendimento coletivo, dinâmico, complexo. Importa diferir, ainda que não dicotomizar, discussões epistemológicas de natureza da ciência, daquelas educacionais; em que a NdC é pensada enquanto componente curricular, por exemplo. Em um segundo momento, resgata-se a gênese desse conjunto de proposições, primeiramente pensadas para uma articulação com a história da ciência/física, mas que, pela forma, abrangência e relevância dos conteúdos que aborda, extrapola a sua aplicabilidade à outras situações e contextos de ensino. Evidencia-se que as 18 proposições comentadas, podem ser vistas – quando associadas a marcos teóricos educacionais e metodológicos alinhados e consistentes entre si – como uma alternativa potencialmente útil para a abordagem de vários aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no âmbito da educação científica e tecnológica.

Os aspectos *da e sobre* a ciência, veiculados pelas proposições, limitam-se ao conjunto de saberes que têm suas origens na Grécia Antiga, isto é, àqueles relativos à ciência ocidental. Assim, os conhecimentos, procedimentos e visões de mundo de outras culturas, como a árabe, a chinesa, a hindu, não estão contemplados nas discussões. Se por um lado isto não isenta da crítica o que estudos da literatura, por exemplo, têm designado como colonização do saber (Santos & Menezes, 2010), a hegemonia da visão eurocêntrica de ciência (e tudo o que ela traz consigo), de outro, mostra a consciência e a prioridade da escolha, sempre necessária e incompleta, na abordagem de temas complexos. De todo modo, conhecer para criticar fortalece a própria crítica.

PROPOSIÇÕES SOBRE A NATUREZA DA CIÊNCIA E DO TRABALHO CIENTÍFICO

1. A observação (científica) é seletiva: exige um objeto, um ponto de vista, um interesse especial, um problema. As observações são intrincadas misturas de componentes empíricos e precipitados teóricos. Não há observações neutras.

“São as pessoas que vêem e não seus olhos” (Hanson, 1975, p. 130). Efetivamente, há muito mais coisas no ato de ver do que as imagens que se formam na retina do observador. A experiência visual que alguém tem ao ver um objeto depende de seus conhecimentos, de suas vivências, de suas expectativas, de suas interpretações. Quando diferentes observadores olham para um mesmo objeto, em igualdade de condições, há um certo sentido em se dizer que *“todos eles estão ‘diante de, ‘olhando para’ e, assim, ‘vendo’ a mesma coisa. Mas não podemos concluir que eles tenham experiências perceptivas idênticas”* (Chalmers, 1999, p. 49, 52).

No sentido estritamente biológico:

“Quando olhamos na direção de algum objeto, a imagem atravessa à córnea e chega à íris, que regula a quantidade de luz recebida por meio de uma abertura chamada pupila. Quanto maior a pupila, mais luz entra no olho. Passada a pupila, a imagem chega ao cristalino, e é focada sobre a retina. A lente do olho produz uma imagem invertida, e o cérebro a converte para a posição correta. Na retina mais de cem milhões de células fotorreceptoras transformam as ondas luminosas em impulsos eletroquímicos, que são decodificados pelo cérebro” (CBO, 2017)¹.

¹ Conselho Brasileiro de Oftalmologia, 2017 (www.cbo.com.br).

Quer dizer, estar diante dos mesmos ‘dados’ não é sinônimo de observar a mesma coisa, por exemplo, devido a alteração na estrutura, na forma, na organização daquilo que se observa à luz do repertório conceitual e das habilidades do observador, como ilustram as figuras de *Gestalt*².

A Figura 1a mostra um cubo, que pode ser observado de duas diferentes perspectivas: ‘de cima para baixo’, quando ficam visíveis suas faces superior, frontal e direita, e de ‘baixo para cima’, quando se expõem as suas faces inferior, frontal e esquerda. A escada, na Figura 1b, segue a mesma perspectiva. Na Figura 1c pode-se visualizar um vaso ou duas faces se entreolhando.

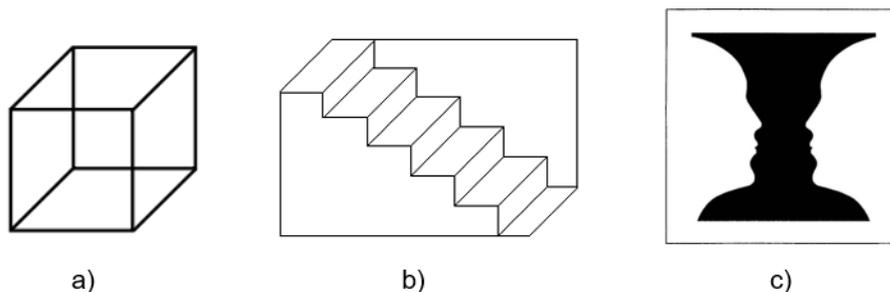


Figura 1 – Figuras de Gestalt: a) o cubo de Necker; b) a escada; c) o vaso de Rubin (extraídas de Hanson, 1958, Chalmers, 1999, Rubin, 1921, respectivamente).

As Figuras 2a, 2b e 2c ilustram os ‘pares’ coelho-pato, cavalo-sapo, moça-velha.

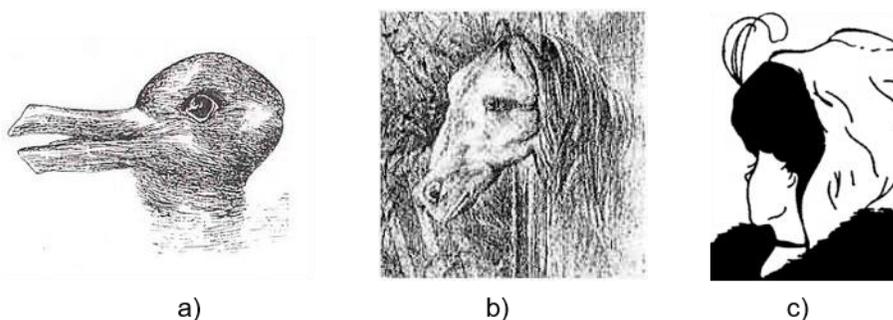


Figura 2 – a) coelho-pato; b) cavalo-sapo; c) moça-idosa (extraídas de Jastrow, 1900, Internet, Hanson, 1958).

A percepção de Jesus Cristo na Figura 3 (e não a imagem de um homem qualquer) reitera como as concepções de um indivíduo exercem influência sobre o que ele é capaz de ver.



Figura 3 – Jesus Cristo (extraída de Hanson, 1958).

² Gestalt é um termo alemão, sem tradução exata para o português ou qualquer outro idioma, que significa, aproximadamente, o todo, a estrutura, a forma, a organização (Braghirolli *et al.*, 1997). “A psicologia da Gestalt, originalmente ocupada com o estudo da percepção, enfatiza sistemas holísticos, nos quais as partes estão dinamicamente inter-relacionadas, de modo que o todo não pode ser inferido das partes separadamente” (Moreira, 2011, p. 44). O todo não é o resultado de um processo de simples adição dos elementos que o formam.

A arte contemporânea do pintor ucraniano Oleg Shuplyak³, que utiliza magistralmente a ilusão de óptica em suas obras, é mais um exemplo de como as observações não são neutras. Ele traz telas como a dos ‘dois passáros’, mostrada na Figura 4, que não exigem do espectador mais do que a sua mera atenção para distinguir as sutilezas proporcionadas pelo artista; assim como inúmeras outras que demandam conhecimentos específicos para serem apreciadas em seu alcance cultural mais amplo, como o rosto de Vincent van Gogh nas pinceladas impressionistas do quadro na Figura 5, ou o de Isaac Newton no cenário que evoca o mito da maçã, na Figura 6.



Figura 4 – “Pássaros de uma mesma pena” (extraída de Shuplyak, 2019).

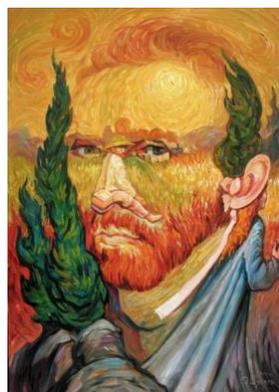


Figura 5 – “Retrato duplo de Van Gogh” (extraída de Shuplyak, 2019).



Figura 6 – “Newton no jardim das ideias” (extraída de Shuplyak, 2019).

Por certo, observação e interpretação interligam-se como coisas indissociáveis:

“Separar a urdidura do tecido destrói o produto; separar a pintura da tela destrói o quadro; separar matéria e forma numa estátua torna-a ininteligível. Assim também,

³Oleg Shuplyak disponibiliza em galeria online várias obras de suas coleções (Shuplyak, 2019).

separar os sinais-de-apreensão-de-sensações da apreciação-do-significado desses sinais destruiria o que entendemos por observação científica” (Hanson, 1975, p. 128).

“O significado de uma observação é função de sua localização numa rede de hipóteses e inferências” (Oliva, 1994, p. 17). A natureza não se mostra por si só: é interagindo com ela, submetendo-a a condições específicas, que se visa compreendê-la (Iglesias, 2004).

Na perspectiva de Ludwik Fleck (1896-1961), o observar envolve, primeiramente, o ver inicial e pouco claro e, posteriormente, a percepção da forma desenvolvida e imediata. Este segundo momento, exige a inserção do sujeito em uma área do conhecimento: *“somente após muitas vivências, talvez após uma formação prévia, adquire-se a capacidade de perceber, de maneira imediata, um sentido, uma forma e uma unidade fechada” (Fleck, 2010, p. 141). Isto quer dizer, em outras palavras, que a observação sem pressuposições “psicologicamente, é um contrassenso e, logicamente, uma brincadeira” (p. 142).*

Sem dúvida, é possível olhar sem nada ver, por exemplo, quando se está absorto em pensamentos que distanciam o indivíduo do seu entorno. Por isso também se diz que não há observação sem a consciência daquilo que é observado, sem uma efetiva interação entre sujeito e objeto.

2. Leis e teorias⁴ científicas são elaborações/criações do intelecto humano. Não são meras sínteses indutivas do observado, do experimentado. Os dados, per se, não geram teorias.

“Nenhum caminho lógico conduz das percepções aos princípios de uma teoria” (Einstein, 1981, p. 140). Quer dizer, “fazemos ciência com fatos assim como construímos uma casa com pedras, mas uma acumulação de fatos não é ciência assim como não é uma casa um monte de pedras” (p. 115). Os fatos precisam ser gerados, organizados e interpretados à luz das convicções teóricas do estudioso. A ciência não pode conhecer ‘fatos nus’, dados puros, pois “os ‘fatos’ de que tomamos conhecimento já são vistos de certo modo e são, portanto, essencialmente ideacionais” (Feyerabend, 2007, p. 33). “O mundo é percebido através de ‘lentes’, de uma ou outra malha conceitual” (Laudan, 2011, p. 22). Parafraseando o historiador Edward Carr (1892-1982) (Carr, 1982), os fatos não se apresentam ao observador (ou ao historiador, nos documentos, nas inscrições) como os peixes na tábua do peixeiro.

“Descobrimos que o aprendizado não vai da observação para a teoria, mas sempre envolve ambos os elementos. A experiência surge com pressupostos teóricos, e não antes deles, e uma experiência sem teoria é tão incompreensível quanto o é (presumidamente) uma teoria sem experiência: elimine parte do conhecimento teórico de um sujeito perceptivo e você tem uma pessoa completamente desorientada e incapaz de executar a mais simples das ações. Elimine mais conhecimento e seu mundo sensorial (sua ‘linguagem de observação’) começará a desintegrar-se, as cores e outras sensações simples desaparecerão até que ele se encontre em um estágio ainda mais primitivo do que uma criança pequena” (Feyerabend, 2007, p. 210).

O conhecimento não deriva somente da razão, da força ou capacidade autosuficiente do intelecto; tampouco resulta apenas da percepção aguçada dos sentidos, sejam eles estendidos ou não pelo auxílio de instrumental apropriado. As limitações do racionalismo e do empirismo como formas isoladas e independentes de gerar conhecimento foram criticadas por Francis Bacon (1561-1626) no começo da ciência moderna. Para isso, ele fez uso de uma interessante analogia:

“Os empíricos, à maneira das formigas, acumulam e usam as provisões; os racionalistas, à maneira das aranhas, de si mesmos extraem o que lhes serve para a teia. A abelha representa a posição intermediária: recolhe a matéria-prima das flores do jardim e do campo e com seus próprios recursos a transforma e digere... muito se deve

⁴O termo teoria é muitas vezes usado, sem muita parcimônia, com o significado de convicção teórica, conjectura, hipótese, lei. Contudo, *“leis são generalizações, princípios ou padrões na natureza; teorias são as explicações para essas generalizações” (McComas, 2002, p. 54). Teorias, como redes conceituais, são instrumentos intelectuais de explicação, predição, controle, pesquisa. (Hacking, 2012).*

esperar da aliança estreita e sólida (ainda não levada a cabo) entre essas duas faculdades, a experimental e a racional” (Bacon, 1979, p. 63).

As transformações radicais pelas quais passa a razão humana no começo do século XX, com o advento da relatividade einsteiniana e da mecânica quântica, fazem Gaston Bachelard (1884-1962) ressaltar (mais uma vez) o duplo movimento que anima o pensamento científico, a alternância do *a priori* e do *a posteriori* na construção da ciência contemporânea:

“O empirismo e o racionalismo estão ligados, no pensamento científico, por um estranho laço, tão forte como o que une o prazer à dor. Com efeito, um deles triunfa dando razão ao outro; o empirismo precisa ser compreendido; o racionalismo precisa ser aplicado. Um empirismo sem leis claras, sem leis coordenadas, sem leis dedutivas, não pode ser pensado nem ensinado; um racionalismo sem provas palpáveis, sem aplicação à realidade imediata não pode convencer plenamente” (Bachelard, 1991, p. 9-10).

De qualquer maneira, e fazendo eco às críticas de Bachelard à inércia, ou descompasso, de uma filosofia, e de uma escola, que não se atualiza em relação aos avanços do conhecimento, a indução (mas não somente ela) na ciências, e no ensino de ciências, reúne muitos adeptos. É o processo de geração de conhecimentos através do qual se infere uma tendência geral a partir de instâncias particulares. Isto é, quando de enunciados singulares, tais como descrições de resultados de observações ou experimentos, obtém-se enunciados universais, como hipóteses ou teorias (Popper, 1972). No domínio de sua validade, esse conhecimento pode então ser avaliado por sua capacidade explicativa e preditiva.

O problema que se apresenta a essa forma de conceber e edificar conhecimentos é que a indução não pode ser justificada logicamente, como demonstrou David Hume (1711-1776) em meados do século XVIII. Não há argumentos lógicos válidos para afirmar que aquilo que não foi experienciado assemelha-se ao que já foi experienciado. Por conseguinte, em termos lógicos, ao menos, mesmo que se constate, exaustivamente e sem exceção, que um grande número de As possui uma propriedade B, não se pode concluir com isso que todos os As têm a propriedade B. Não é porque são pretos todos os corvos que se conhece, que se pode afirmar que todos os corvos são pretos.

Como adverte com propriedade Max Born (1882-1970), um dos formuladores da velha mecânica quântica, ao se referir as insuficiências da indução na prática científica:

“Não há observação ou experimentação, por mais extensas, que possam proporcionar a não ser um número finito de repetições. Portanto, a proposição de uma lei – B depende de A – transcende sempre a experiência. Contudo, fazemos sempre este tipo de afirmativa, baseando-nos às vezes em fundamentação muito limitada” (Born apud Popper, 1982, p. 83-84).

Para Born, *“trata-se de uma questão de fé”* a aceitação e o uso da indução na ciência, pelo que ele se inclina a qualificá-la como um *“princípio metafísico”* (Popper, 1982, p. 82).

O princípio da indução também não pode ser derivado da experiência considerando-se o seu sucesso em um sem número de situações, pois neste caso se estaria fazendo uso da indução para justificar a própria indução. Nessa perspectiva, o problema da indução torna o conhecimento tentativo (como de fato é). É possível pensar que a indução é uma forma (efetiva e única, para muitos) de produzir conhecimentos, e que a natureza rigorosa e auto-corretiva do processo científico seria, em princípio, suficiente para lidar com as limitações dessa realidade.

O certo é que, desde Hume, o problema da indução foi estudado por muitos filósofos. O recurso à probabilidade não se mostrou menos problemático. Realmente, se um grande número de As possui uma propriedade B, pouco ou nada se acrescenta ao se dizer que *provavelmente* todos os As possuem a propriedade B, pois o número de instâncias disponíveis e corroboradoras será sempre irrisório em relação ao número infinito

⁵ A indução matemática é diferente da indução empírica das ciências naturais. Utilizada para demonstrar teoremas de um certo tipo (Polya, 1995, p. 91-96), não será aqui considerada.

de instâncias possíveis.

Como uma alternativa engenhosa ao problema da indução, Karl Popper (1902-1994) propôs que a construção de conhecimentos é um processo baseado em conjecturas e refutações:

- Procuramos, de modo ativo, impor regularidades ao mundo.
- Tentamos identificar similaridades e interpretá-las em termos de leis que inventamos.
- Caso as observações não as corroborem, deixamos nossa teoria de lado.

Para Popper, não se pode demonstrar a verdade de nenhuma teoria científica; pode-se demonstrar apenas a sua falsidade. As teorias científicas são invenções – *“conjecturas apresentadas ousadamente, para serem eliminadas no caso de não se ajustarem às observações”* (Popper, 1982, p. 75-76) – e não composição de observações. Uma hipótese ou teoria corroborada significa tão somente que ela *“consegue permanecer flutuando sobre os mares instáveis da testagem crítica”* (Hacking, 2012, p. 63), nada mais.

3. Experimentos de pensamento mostram o valor essencial das conjecturas pré-observacionais, dos conhecimentos e das convicções teóricas do sujeito na investigação científica.

Presentes nas reflexões dos estudiosos, em suas conversas, nas correspondências que trocam, nas aulas que ministram, nos livros e artigos que escrevem, experimentos de pensamento têm sido largamente utilizados na ciência, e no ensino, como um importante recurso heurístico na proposição, discussão e estabelecimento de novas ideias, conceitos e teorias.

O termo Gedankenexperiments – experimentos de pensamento – foi cunhado pelo físico e filósofo Ernst Mach (1838-1916) em um artigo publicado em 1897, no qual ele apresenta uma reflexão inicial sobre essa classe especial de experimento. Duas coisas são bastante sugestivas no artigo de Mach. Primeiro, ele mostra que o experimento pensado é um tema recorrente na história da ciência, e da física em especial, mas de aceitação acrítica, até então. Segundo, ele destaca o papel da razão, das concepções teóricas, na formulação, execução e análise de um experimento.

“Nossas ideias estão mais fácil e prontamente a nossa disposição do que fatos físicos. Experimentamos com o pensamento, por assim dizer, com pouco custo. Então, não devemos nos surpreender que, frequentemente, os experimentos de pensamento precedam os experimentos físicos, e que até os preparem”(Mach, 1972, p. 452).

Segundo o historiador da ciência Alexandre Koyré (1892-1964), é fácil compreender porque as experiências de pensamento têm se mostrado úteis no desenvolvimento da ciência, e da física em particular:

“As experiências reais são, frequentemente, de difícil realização, pois implicam, não menos frequentemente, a necessidade de uma complexa e custosa aparelhagem. Além disso comportam, necessariamente, certo grau de imprecisão e, portanto, de incerteza. Com efeito, é impossível produzir uma superfície plana que seja ‘verdadeiramente’ plana, ou uma superfície esférica que seja ‘realmente’ esférica. Não há, e não pode haver, in rerum natura, corpos perfeitamente rígidos; tampouco, corpos perfeitamente elásticos. Não se pode efetuar uma medida perfeitamente exata. A perfeição não pertence a este mundo. Certamente, pode-se aproximar dela, mas não se pode atingi-la. Entre o dado empírico e o objeto teórico existe, e sempre existirá, uma distância que é impossível vencer.

É aí que a imaginação entre em cena, eliminando facilmente o abismo. Ela não se embaraça nas limitações que nos são impostas pelo real. Ela ‘realiza’ o ideal e até o impossível. Opera com objetos teoricamente perfeitos, e são tais objetos que a experiência imaginária põe em jogo. Assim, ela permite que esferas perfeitas deslizem sobre planos perfeitamente lisos e perfeitamente duros; suspende pesos com alavancas perfeitamente rígidas, cujo peso, por sua vez, é inexistente; permite que a luz emane

de fontes puntiformes; envia corpos ao espaço infinito para que lá se movam eternamente; regula relógios síncronos dos sistemas galileanos de referência em movimento inercial e lança fótons, um a um, sobre uma tela com uma ou duas fendas. Assim, a imaginação obtém resultados de uma precisão total – o que, aliás, não os impede, às vezes, de serem falsos, pelo menos em relação à rerum natura – e é certamente por isso que, tantas vezes, são experiências imaginárias que estão subentendidas nas leis fundamentais dos grandes sistemas de filosofia natural, como os de Descartes, de Newton, de Einstein...e também de Galileu” (Koyré, 1982, p. 209).

Sob muitos aspectos, um experimento físico é uma continuação natural de um experimento pensado, como diz Mach. Nesse sentido, um experimento de pensamento, se não evita, minimiza muitas fontes de erro em uma experimentação real. Em uma época em que o positivismo lógico é hegemônico, Mach chama a atenção para o valor da conjectura antes da realização de um experimento físico ou mental. As hipóteses que antecipam resultados não são metodologicamente anti-científicas. Ao contrário, elas são parte de um processo natural no delineamento e execução de qualquer experimento.

A concepção, o planejamento e a organização de uma atividade experimental, via de regra, mostram tanto a inelutável relevância dos referentes teóricos que subsidiam as ações desenvolvidas, quanto o exercício de uma intensa reflexão de natureza essencialmente especulativa, intuitiva e preditiva. Entre outras coisas, pode-se destacar: a) a formulação de um problema e das expectativas de sua solução; b) a adequação de equipamentos experimentais; c) a definição de variáveis dependentes e independentes; d) a seleção de técnicas de análise dos dados; e) estimativas de margens de erro; f) cuidados relativos as condições de validade, reprodutibilidade e generalização dos resultados; g) preocupações quanto a forma de comunicação dos resultados.

Apesar de todos os experimentos serem orientados por uma teoria ou expectativa, nem todos exigem um laboratório. Os resultados de um experimento de pensamento podem ser tão convincentes que a realização do experimento, em condições reais, é inteiramente dispensável. Assim, alguns experimentos podem ser conduzidos, literalmente, apenas na imaginação. Entretanto, quanto mais incertas ou indefinidas forem as conclusões, maior será a necessidade da implementação do experimento em situação concreta, para dissipar incompreensões, dúvidas, divergências e atribuir legitimidade a elas.

Para Mach, o método de um experimento de pensamento é o mesmo que o de um experimento físico concreto: o método da variação. *“Variando as circunstâncias (continuamente, se possível), o intervalo de validade de uma ideia (expectativa) relacionada a essas circunstâncias aumenta. Através da modificação e particularização [especificação] das circunstâncias, a ideia se desenvolve e se diferencia”* (Mach, 1972, p. 453). Cabe ressaltar que reside aqui a concepção de um método para um experimento, mas há vários modos de proceder em uma experimentação.

Conjecturas que precedem a realização de um experimento têm um grande valor didático. Conforme Mach, não apenas o estudante, mas também o professor, beneficia-se desse método ou, melhor dizendo, estratégia de ensino. *“Por esse método, mais do que por qualquer outro, o professor fica melhor familiarizado com [os conhecimentos de] seus estudantes”* (Mach, 1972, p. 455). Sabendo o que pensam, conhecendo as suas ideias prévias, ele pode corrigir equívocos, assim como valorizar e enaltecer as contribuições relevantes.

As críticas de muitos estudantes ao papel da idealização na ciência, a situações ou modelos teóricos que parecem tornar irremediavelmente incomensuráveis o mundo do cientista e o mundo real dos fenômenos, podem ser minimizadas quando se mostra que a simplificação é parte de uma sequência de modelos que, estratégica e paulatinamente, aproximam o cientista da solução de seu problema. Esse processo, muitas vezes, não prescinde dos experimentos de pensamento (experimentos mentais, experimentos pensados). Lamentavelmente, no entanto, o ensino de física, das ciências naturais em geral, ainda negligencia o valor conceitual e epistemológico desses experimentos. Uma das razões para isso é a ausência da história da ciência nesse ensino.

Sem muitas vezes entender como a ciência apreende o mundo real através de seus modelos, o estudante pode ficar sujeito *“à infeliz escolha entre renunciar ao seu próprio mundo por ser uma fantasia, ou renunciar ao mundo da ciência pela mesma razão”* (Matthews, 1995, p. 185).

4. As teorias científicas não são definitivas e irrevogáveis, mas sim objeto de constante revisão; o pensamento científico modifica-se com o tempo.

A pesquisa científica não revela verdades absolutas, permanentes e incontroversas. Como bem ressalta Louis de Broglie (1892-1987):

“Para o sábio, o julgar a ciência acabada é uma ilusão tão completa como para o historiador é pensar que a história terminou. Quanto mais progredem os nossos conhecimentos, tanto mais a natureza se mostra detentora de uma riqueza quase infinita nas suas diversas manifestações. Mesmo no domínio de uma ciência já tão desenvolvida como a Física, não temos razão alguma para pensar que estão exaustos os tesouros da natureza ou que estamos quase a terminar o seu inventário”(De Broglie, 1958, p. 30).

Já na Jônia, no alvorecer da ciência, Xenófanos de Colofon (570-475 a.C.) intuíra o quanto o conhecimento é provisório:

*“Mas quanto à verdade certa, nenhum homem a conheceu,
Nem vai conhecê-la; nem dos deuses
Nem de todas as coisas de que falo.
E mesmo se por sorte proferisse
A verdade perfeita, ele mesmo não a conhecerá;
Pois tudo não passa de uma trama de suposições” (Popper, 2014, p. 23-24).*

Kuhn (2011a) questiona: *“será realmente útil conceber a existência de uma explicação completa, objetiva e verdadeira da natureza, julgando as realizações científicas de acordo com sua capacidade para nos aproximar daquele objetivo último [a verdade]?”*. A ideia que perpassa a concepção do filósofo é a de *“deixar de nos ver como chegando cada vez mais perto de alguma coisa, mas de nos ver, em vez disso, como movendo-nos para longe de onde estávamos”* (Kuhn, 2006, p. 370).

“A ciência invariavelmente provoca um sentimento de reverência e admiração” (Sagan, 1996, p. 42), mas é preciso reconhecer que o erro é parte inerente e indissociável de seus processos; que a certeza, ou a verdade, é um sonho utópico, inatingível na prática. Essa realidade, que açoita a soberba submetendo-a as amarras da humildade, está longe de promover um ceticismo capaz de fazer ruir o entusiasmo e a confiança na ciência.

“O conhecimento é a reforma de uma ilusão. Conhecemos sempre contra um conhecimento anterior, retificando o que se julgava sabido e sedimentado” (Lopes, 1996, p. 254). Nesse sentido, *“o que sabemos é fruto da desilusão com àquilo que julgávamos saber”* (p. 254).

“Os seres humanos podem ansiar pela certeza absoluta; podem aspirar a alcançá-la; podem fingir, como fazem os partidários de certas religiões, que a atingiram. Mas a história da ciência – de longe o mais bem-sucedido conhecimento acessível aos humanos – ensina que o máximo que podemos esperar é um aperfeiçoamento sucessivo de nosso entendimento, um aprendizado por meio de nossos erros, uma abordagem assintótica do Universo, mas com a condição de que a certeza absoluta sempre nos escapará” (Lopes, 1996, p. 42).

Talvez se possa dizer, sem entrar no mérito de uma comparação com matéria de natureza controversa, que o conhecimento *“está sujeito a um processo evolutivo análogo ao processo darwiniano da evolução das espécies”* (Bastos Filho, 1998, p. 48). Isto é, *“tal como na aventura da vida e de toda a biosfera, também a aventura do conhecimento, até mesmo no que concerne ao conhecimento inato, está sujeito a um genuíno processo evolucionista das idéias”* (p. 48). É nesse sentido que Kuhn argumenta que se faz necessário olhar para a história das disciplinas científicas; o quanto se proliferam, se multiplicam e se especializam.

Depois de uma revolução, em que há mudanças paradigmáticas em distintos níveis, *“ou um novo ramo [científico] separou-se do tronco original (...) ou então uma nova especialidade nasceu em uma área de aparente*

superposição entre duas especialidades preexistentes” (Kuhn, 2006, p. 124). A incomensurabilidade, sobretudo local, na perspectiva kuhniana, pode ser vista como condição prévia ao progresso científico.

5. Uma teoria não deixa de ser científica porque foi descartada; no período de sua vigência ela constituiu um corpo de conhecimento coerente, com poder explicativo e preditivo, que explicitou uma maneira de ver e compreender o mundo físico, os fenômenos naturais.

“*Ciência e verdade não estão de mãos dadas, como parecia óbvio em tempos passados*” (Ben-Dov, 1996, p. 8). “*Uma boa teoria não é um constructo definitivamente irrefutável e absolutamente verdadeira*” (Thuillier, 1994, p. 9); é uma teoria que oferece soluções satisfatórias a problemas relevantes, no âmbito de sua validade. Concebendo-se, como o filósofo Larry Laudan (1941-), que a ciência é essencialmente uma atividade de solução de problemas teóricos e empíricos, então:

“Se os problemas são o foco do pensamento científico, as teorias são seu resultado final. Elas são relevantes, cognitivamente importantes, à medida que – e somente à medida que – oferecem soluções adequadas. Se os problemas constituem as perguntas da ciência, as teorias constituem as respostas. A função de uma teoria é resolver a ambiguidade, reduzir a irregularidade à uniformidade, mostrar que o que acontece é inteligível e previsível” (Laudan, 2011, p. 20).

Para Laudan, uma teoria deve apresentar ‘respostas aceitáveis a perguntas interessantes’; oferecer ‘soluções satisfatórias a problemas relevantes’. Mais do que considerar a quantidade de problemas que a teoria é capaz de resolver, é a importância desses problemas que se deve ajuizar; mais do que ponderar sobre a quantidade de fatos que confirmam ou corroboram a teoria, é à qualidade dos mesmos que se deve atentar. Admitindo-se que as teorias sejam avaliadas em relação a sua capacidade de resolver problemas, se a teoria T resolve mais problemas, relevantes e significativos, que a teoria T*, então T* deve ser preterida em favor de T.

Não obstante, julgar que uma teoria superada por outra deixa de ser científica, porque não é mais aceita – satisfazendo-se apenas com os conhecimentos do presente, desqualificando os feitos e os esforços do passado – significa proferir a esse mesmo presente a sentença de também não ser científico, de não ter valor, no futuro, com a emergência de novas teorias. Além de questionar o próprio conceito de cientista, isso equivaleria a destituir a ciência de sua história, o que é um absurdo. Como adverte o físico Paul Langevin (1872-1946) (1992), se apenas teorias ‘comprovadas’ têm o direito de se fazer presentes nos livros didáticos, então o que na realidade se encontra nesses manuais são teorias ultrapassadas, tendo em vista a rapidez com que ocorrem mudanças em idéias fundamentais.

6. Concepções filosóficas, religiosas, culturais, éticas do investigador, assim como o contexto histórico, cultural, social em que se desenvolve a ciência, influenciam o seu trabalho desde os tempos mais remotos.

Não pode haver ciência, ao menos na forma como ela vem sendo produzida, desde os seus primórdios, sem o pressuposto (metafísico) de que a natureza é inteligível. Em cada época, a ciência se desenvolve à luz de um contexto: filosófico, econômico, político, religioso. Mesmo tendo uma dinâmica própria, que move os cientistas à procura de respostas aos problemas que formulam e com os quais se deparam, ela não é imune, e nem independente, dos dilemas e dos múltiplos interesses e valores que existem no meio (a sociedade) em que se encontra. Há influências e forças históricas, culturais e sociais sobre a ciência (McComas, 2004). Em consequência, existem, por exemplo, pesquisas que são apoiadas e outras desencorajadas, censuradas ou mesmo proibidas dependendo do contexto em que se encontram.

O cientista, em seu trabalho, é influenciado por suas crenças e valores. Embora nem sempre perceptível e estimada, a veia idiossincrática existe, naturalmente. Assim, os princípios de mínima ação (princípios de ação estacionária, princípios variacionais) – que consideram que os fenômenos naturais podem ser descritos matematicamente através da minimização de certas quantidades físicas – presentes em vários momentos da história da física, tornam explícitas “*interessantes conexões entre idéias científicas, pressupostos filosóficos, concepções religiosas e culturais que variam com a época e com a cultura subjacente*” (Moreira, 1999, p. 174).

⁶ Langevin faz essa consideração em 1926, quando da estruturação da mecânica quântica.

Matérias controversas, em geral, deixam transparecer os conceitos, subjetividades e pressupostos de um investigador.

As tentativas de varrer da ciência aspectos considerados não cognitivos, como concepções metafísicas e teológicas, do nascimento da ciência moderna, no século XVII, ao programa positivista da primeira metade do século XX, fracassaram redondamente, segundo o referencial da filosofia da ciência contemporânea. A fonte de inspiração na ciência, o *modus operandi* dos cientistas, é plural, diversificado, dinâmico; não admite simplificações restritivas como a que pretende a separação entre o contexto da descoberta e o contexto da justificativa.

No livro “Experiência e Predição”, publicado em 1938, o filósofo Hans Reichenbach (1891-1953) explicita a distinção entre esses dois contextos. As origens do conhecimento científico, a sua gênese, o seu processo de construção, que abrange concepções psicológicas, subjetivas, etc, pertence ao contexto da descoberta. O contexto da justificativa, por sua vez, está relacionado com os resultados científicos que, absolutamente rígidos, nessa perspectiva, omitem qualquer aspecto humano da ciência, extinguem qualquer subjetividade (Raicik & Peduzzi, 2015).

A filosofia da ciência, na contemporaneidade de Reichenbach, imersa no empirismo lógico⁷, não visava trabalhar e analisar os processos da pesquisa científica. O essencial se pautava nos resultados científicos: as ‘descobertas’ (como produto) realizadas, as teorias elaboradas, os métodos (lógicos) utilizados, a justificação empírica. Para Popper, que distingue esses contextos, e que sustenta que a racionalidade na ciência é uma questão de método – conjecturas e refutações – no entanto, “*não há nenhum problema em ser pré-cientificamente metafísico, pois a metafísica infalsificável é, muitas vezes, o progenitor da ciência falsificável*” (Hacking, 2012, p. 62). Com efeito, “*toda descoberta encerra um ‘elemento irracional’ ou ‘uma intuição criadora’*” (Popper, 1972, p. 32), mas nem por isso os cientistas deixam de ser racionais, científica e reconhecidamente objetivos no desenvolvimento de suas teorias.

As reações a essa dicotomia, a partir da década de 1960, com autores como Norwood Hanson (1924-1967), Thomas Kuhn (1922-1996), Michael Polanyi (1891-1976), Paul Feyerabend (1924-1994), mostraram sobejamente que esses contextos são indissociáveis, erodindo a imagem estereotipada do investigador destituído de preconceitos. Para Kuhn, o contexto da justificativa está imerso em aspectos sociológicos e psicológicos. Ele argumenta que esse contexto, assim como o da descoberta, permeia a escolha de teorias pela comunidade. A razão e as circunstâncias que levam a uma determinada escolha variam de uma comunidade científica para outra e depende de cada membro da mesma, que pode interpretar diferentemente determinados valores paradigmáticos. Kuhn (2011a) também pondera que, todas as vezes que tentou aplicar as distinções “*mesmo grosso modo, às situações reais nas quais o conhecimento é obtido, aceito e assimilado*” (p. 28) isso pareceu extraordinariamente problemático.

“E quando você olha mais de perto ‘o que os cientistas fazem’, você pode se surpreender ao descobrir que a pesquisa realmente compreende tanto a chamada ciência do dia quanto a ciência da noite. A ciência do dia invoca argumentos que se encaixam como engrenagens, com resultados que têm a força da certeza. Seu arranjo formal é tão admirável quanto o de uma pintura de Da Vinci ou uma fuga de Bach. Você pode andar nela como em um jardim francês. Consciente do seu progresso, orgulhosa do seu passado, segura do seu futuro, a ciência do dia avança na luz e na glória. Em contraste, a ciência da noite vagueia cega. Ela hesita, tropeça, recua, transpira, acorda com um sobressalto. Duvidando de tudo, está sempre tentando encontrar a si mesma, questionar a si mesma, se recompor. A ciência da noite é uma espécie de oficina do possível, onde o que vai se tornar o material de construção da ciência é trabalhado. Onde hipóteses permanecem na forma de pressentimentos vagos e impressões pouco nítidas. Onde os fenômenos ainda não são mais do que eventos solitários sem ligação”

⁷ Os empiristas (positivistas) lógicos consideram que a base para a análise da ciência é o empirismo clássico e a lógica formal. Nesse sentido: a) objetivam desenvolver uma linguagem precisa e consistente para superar o problema da linguagem cotidiana; b) atribuem à filosofia a função de fazer uma análise lógica da ciência; c) tratam apenas de matérias acessíveis a análise formal (questões como a natureza da descoberta científica são rejeitadas); d) baseiam, ou referem, os enunciados das ciências empíricas à experiência sensível; e) sustentam que a verificabilidade demarca os enunciados com significado cognitivo (que podem ser verdadeiros, caso sejam verificados pela ciência, ou falsos, caso contrário) dos sem significados ou metafísicos (que são destituídos de sentido); f) pressupõem que os enunciados com significado podem ser verdadeiros (verificados na experiência) ou falsos (não verificados na experiência); g) admitem que os enunciados metafísicos não são nem verdadeiros nem falsos; são sem significado. O metafísico ou o teólogo não produzem teoria, mas poesia ou mito.

entre eles. Onde o design de experimentos mal tomou forma. Onde o pensamento faz o seu caminho ao longo de caminhos sinuosos e caminhos tortuosos, na maioria das vezes levando a lugar nenhum. À mercê do acaso, a mente se agita em um labirinto, inundada de sinais, em busca de um sinal, um aceno, uma conexão inesperada [...] No interminável diálogo interior, em meio a incontáveis suposições, comparações, combinações e associações que funcionam sem parar na mente, uma chama às vezes rasga a escuridão, iluminando de repente a paisagem com uma luz ofuscante que é aterrorizante, mais forte que mil sóis” (Jacob, 1998, p. 126).

A realidade do cientista (o processo de investigação científica) não condiz com a dicotomia entre contexto de descoberta e justificativa. A ciência do dia se entrelaça com a da noite em uma inseparável mescla de luzes.

7. A abordagem lógica, ahistórica e linear/sequencial dos conteúdos, veiculada pelo livro didático (e por outros materiais de ensino), é uma simplificação (grosseira) que ressalta apenas os resultados da ciência.

No âmbito das ciências experimentais, como a física, os conhecimentos são usualmente apresentados, no ensino, de forma dogmática: *“aprende-se as leis, as fórmulas que as traduzem e depois sua utilização”* (Langevin, 1992, p. 8). Esse ensino *“acaba dando a impressão, absolutamente falsa, de que a ciência é uma coisa morta e definitiva”* (p. 9), que está pronta, que não há mais nada de significativo a ser feito ou a ser descoberto. *“Admiráveis catecismos de ciência experimental”* (p. 9), como frisa Paul Langevin, os manuais didáticos sobrevalorizam os resultados da ciência, seu aspecto utilitarista, negligenciando a história das idéias, dos conceitos.

Justapor conhecimentos de uma forma sequencial pode ‘racionalizar’, ou otimizar, certos procedimentos para fins meramente didáticos. Como sempre há implicações filosóficas permeando o ensino de ciências, muitas concepções são difundidas pela postura dos professores frente à ciência e nas entrelinhas dos materiais didáticos. Pela hegemonia dos resultados científicos e a pouca ênfase atribuída à gênese do conhecimento, o ensino de ciências acaba por apresentar a prática científica como um processo quase estático, neutro, aproblemático, ahistórico, algorítmico, individualista e rígido. O acesso a uma sucessão de paradigmas que parecem se completar não mostra o que é a ciência e o seu desenvolvimento, tornando invisíveis os problemas, as divergências, a competitividade, o espírito inventivo, as soluções, as rupturas.

A necessária divisão parcelar dos estudos, na prática, favorece a perda da unidade, conduzindo ao que o pesquisador espanhol Gil Pérez (1936-) (*et al.*, 2001) chama de visão exclusivamente analítica da ciência. A presença da história da ciência nos programas de ensino pode minimizar esse problema, além de implementar discussões sobre a polêmica questão da continuidade ou da descontinuidade na construção de conhecimentos. Como enfatiza o físico e historiador da ciência Gerald Holton (1922-) (1979, p. 128), *“a história da ciência nos mostra repetidamente como a ampliação do conhecimento pode levar ao reconhecimento de relações entre grupos de fenômenos antes desconexos, e cuja síntese harmoniosa exige uma revisão renovada dos pressupostos, para a aplicação sem ambiguidades até mesmo de nossos conceitos mais elementares”*⁸.

Destarte, não se pode chamar de história da ciência, nos materiais de ensino, simples preâmbulos históricos que, com frequência, orbitando em torno dos resultados da ciência, não escondem a artificialidade inócua de seus fins ilustrativos. Inadvertidamente, *“transformam grandes questões científicas, com múltiplos problemas filosóficos, em mero conjunto de experiências de um empirismo simplista. Descartam por completo a fina tessitura epistemológica das teorias científicas, perdendo, portanto, todo caráter educativo”* (Lopes, 1993, p. 327).

8. A ciência está longe de se constituir em um empreendimento fundado em regras rígidas e imutáveis. A idéia de um único e hegemônico método – o método científico – é uma falácia.

Não há, nem nunca houve, um método prescritivo na ciência, um ‘passo a passo’ ou conjunto de etapas hierarquicamente estruturadas, de cunho geral, que, se seguido sem restrição, com denodo e perseverança, proporcionaria a todo pesquisador sucesso em seu trabalho. Não há, nem nunca houve, um método único e

⁸ Citado por Holton, 1979, p. 128, a partir de um escrito de Bohr para a International Encyclopedia of Unified Science, v. 1, n. 1, p. 28, University of Chicago Press, 1938.

infalível; há muitos métodos, muitos procedimentos passíveis de erros e incertezas, que dependem do que se investiga e de como e onde isso é feito.

As formas e os caminhos através dos quais são produzidos conhecimentos na ciência são tão ricos, diversificados, multiformes e dependentes do tempo e do contexto histórico, que a crença no monopólio de um único método é uma quimera que equivale a tornar o estudioso um autômato passivo, sem imaginação, sem iniciativa, sem ambições, sem criatividade.

Naturalmente, não se faz ciência sem ter um interesse, uma insatisfação, um problema de pesquisa; sem formular e testar/avaliar hipóteses de trabalho. O método popperiano de “conjecturas e refutações” (construir hipóteses, deduzir consequências, testá-las) se insere nessa perspectiva. Todavia, a geração de um novo conhecimento, a solução de um problema, é o resultado de um processo de investigação cercado de muitas variáveis, que nada tem de linear ou trivial. A sua publicidade e avaliação pela comunidade é o que, via de regra, confere legitimidade e impulsiona o desenvolvimento da ciência.

O imperativo do método, a concepção algorítmica, exata e infalível (Gil Pérez *et al.*, 2001) da produção de conhecimentos, é um dos protagonistas indesejáveis no ensino das ciências empíricas. Enumerando diferentes componentes, mas todos reiterando a existência de um padrão mecânico e organizado de procedimentos, o método se faz conhecer de muitas maneiras diferentes. O esquema OHERIC (observação, hipótese, experiência, resultados, interpretação, conclusão) (Moreira; Ostermann, 1993) é uma das suas mais sugestivas versões. Outra, mais sofisticada, que também ilustra a visão reducionista e ingênua da lógica do sucesso na ciência, é a que assevera que o método é constituído pelas seguintes etapas (McComas, 2002): definir o problema, reunir informação; fazer observações relevantes; testar as hipóteses; formar conclusões; relatar os resultados. Em qualquer caso, a simplicidade e o atrativo da aparência sequencial não devem esconder a complexidade da sua essência, nem sugerir generalizações indevidas.

Ao se dizer que por método científico se entende “*as técnicas e procedimentos que um cientista utiliza ao realizar experimentos ou construir teorias*” (McComas, 2002, p. 5), vincula-se explicitamente o conceito à experimentação. Não obstante, apesar de a física ser uma ciência empírica, e ter suas raízes históricas na Grécia antiga, a experimentação dirigida, com variáveis ‘controladas’ (de uso esporádico, não corriqueiro, entre os gregos) passou a ser um integrante indissociável desta ciência apenas com o advento da ciência moderna, no século XVII. Isso, naturalmente, não significa que não havia ciência antes deste período; quer dizer, tão somente, que a afirmação não pode ser usada de forma a-histórica.

Do ponto de vista histórico (considerando as drásticas mudanças conceituais e metodológicas que entram em cena na ciência a partir do século XVII, com a valorização da matemática e da experimentação), a crença na existência de *um* método científico está ligada a concepção de que a ciência é um corpo de conhecimento especial e diferenciado, superior, em relação a outras expressões do intelecto humano, como a pintura, a poesia, a música, a religião, a filosofia. Nessa perspectiva, o método seria a ‘pedra de toque’ da ciência, o diferencial que asseguraria não apenas a via segura para a produção do verdadeiro conhecimento científico, mas os fundamentos argumentativos necessários para justificar as descobertas feitas.

As teorias *do* método, na ciência, têm uma história (McComas, 2002). Ela mostra que o método muda com o desenrolar da ciência; que, ademais, ele não é único, mas dependente dos valores da época e da cultura onde é praticado. Já há bastante tempo, particularmente a partir das contribuições de filósofos como Thomas Kuhn, Karl Popper, Imre Lakatos (1922-1974), Norwood Hanson, Paul Feyerabend, entre outros, é letra morta sustentar a ideia de que a principal característica da ciência é o método que ela utiliza.

Kuhn, em “O caminho desde a Estrutura”, afirma:

“Não estou menos preocupado com a reconstrução racional, com a descoberta dos elementos essenciais, do que os filósofos da ciência. Meu objetivo, também, é uma compreensão da ciência, das razões de sua particular eficácia, do estatuto cognitivo de suas teorias. Ao contrário, porém, da maioria dos filósofos da ciência, comecei como um historiador da ciência, examinando atentamente os fatos da vida científica. Tendo descoberto, no decorrer do processo, que muito comportamento científico, até mesmo o dos maiores cientistas, infringia persistentemente cânones metodológicos aceitos” (Kuhn, 2006, p. 162).

Em “Contra o método”, Feyerabend (1977) é contundente ao afirmar que a ideia de um método que encerre “*princípios firmes, imutáveis e incondicionalmente obrigatórios*” (p. 29) é incompatível com os resultados da pesquisa histórica. Ele argumenta que é possível sustentar, a partir dessa mesma história, que: “*dada uma regra qualquer, por ‘fundamental’ e ‘necessária’ que se afigure para a ciência, sempre haverá circunstâncias em que se torna conveniente não apenas ignorá-la, como adotar a regra oposta*” (p. 29-30).

Assim como os historiadores e filósofos, também os cientistas praticantes (infelizmente em menor número do que o desejável) refletem, e se posicionam, sobre a ciência que produzem, por vezes concordando com certas análises filosóficas, às vezes discordando de forma ácida, como faz Richard Feynman (1918-1988) em uma de suas conferências. Ao se perguntar sobre o que é a ciência, ele diz que “*a ciência não é... aquilo que os filósofos dizem sobre ela e ainda menos aquilo que é dito pelos manuais*”. Feynman então menciona o trecho de um poema seguido de uma conclusão que extrapola a questão do método na ciência:

*“Uma centopéia vivia feliz.
Até que um sapo malicioso lhe perguntou: ‘Diga-me, você jamais se confunde de pata quando caminha?’
Tomada de dúvida, a centopéia caiu em um buraco, porque ela não sabia mais caminhar”.*

E Feynman conclui: “*Eu fiz ciência toda a minha vida, sabendo perfeitamente o que ela era. Mas quanto a dizer a vocês como colocar um pé diante do outro – e para isso estou aqui – eu sou incapaz*” (Videira, 2006, p. 32).

Por certo, os cientistas desenvolvem seus trabalhos teóricos e experimentais tendo pouco ou nenhum interesse em discutir questões sobre o método na ciência, sobre os problemas da indução, sobre os valores que permeiam sua prática, sobre a objetividade na ciência, sobre a intersubjetividade que leva ao consenso. Mas toda a regra tem exceções e, nesse caso, quando elas ocorrem, são muito bem-vindas.

Enfim, é possível dizer que se pode entender por ciência aquilo que os cientistas de uma época fazem, que geram explicações convincentes para os problemas que se apresentam e aplicações dos mais diversos matizes. Contudo, simplificações pouco imaginativas como essa nada dizem sobre esse notável e sempre desconcertante empreendimento humano que é a ciência. Os riscos de seu escrutínio não são isentos de polêmicas, mas geram conhecimentos que, no mínimo, aguçam e engrandecem o espírito.

9. A disputa de teorias pela hegemonia do conhecimento envolve tanto aspectos de natureza interna quanto externa à ciência; podem ser bastante complexos e sutis os mecanismos envolvidos na aceitação de um novo conhecimento.

Sendo as ciências naturais “*o exemplo perfeito da racionalidade, a pérola da razão humana*” (Hacking, 2012, p. 66), não há por que deixar de pensar que os cânones da racionalidade e da objetividade não estejam constantemente presentes em qualquer segmento desse notável e bem-sucedido empreendimento intelectual.

Embora, por muito tempo, tenha se tomado o caráter progressivo do conhecimento e a racionalidade científica como matérias inquestionáveis, uma série de desenvolvimentos da filosofia da ciência contemporânea tem colocado em xeque essa atitude confiante e dogmática do espírito humano. A questão do método e da verdade das teorias, bem como a substituição de um paradigma, ou programa de pesquisa, por outro, são temas controversos, amplamente abertos à discussão e à pesquisa.

“As tentativas de mostrar que os métodos da ciência garantem que ela seja um conhecimento verdadeiro, provável, progressivo ou solidamente confirmado – tentativas que contam com uma linhagem quase contínua de Aristóteles aos dias de hoje – geralmente fracassaram, provocando uma distinta presunção de que as teorias científicas não são verdadeiras, prováveis, progressivas nem solidamente confirmadas” (Laudan, 2011, p. 5).

O certo é que não há regras que orientem a mudança paradigmática, a passagem de um referencial teórico a outro. A persistência do cientista em continuar trabalhando em um programa de pesquisa que mostra claros sinais de degeneração, em detrimento de outros, teórica e empiricamente mais promissores e progressivos,

pode ser uma prerrogativa de fórum íntimo. Entretanto, essa prática contraprodutiva, aos olhos da comunidade, pode ser, como de fato é, desestimulada de muitas formas. Afinal, as instituições patrocinadoras de pesquisas não financiam qualquer projeto de investigação, nem as revistas científicas publicam trabalhos que não se adequam às suas linhas editoriais, nem cargos são ocupados por cientistas que não desfrutem de prestígio ou que não se alinham às políticas públicas e científicas de sua época.

Mas se de um lado existem pressões externas que ostensivamente orientam e limitam o espectro de opções do pesquisador, impondo determinadas escolhas e tolhendo a sua liberdade científica; por outro, de natureza interna à ciência, e que se refere aos juízos de valor envolvidos em uma escolha teórica, ele tem plena autonomia. Cheia de nuances, que para muitos desafiam a propalada objetividade da ciência quando se exterioriza a subjetividade inerente a qualquer decisão, as ideias de Thomas Kuhn parecem suficientes para iluminar preliminarmente esse polêmico tema.

Kuhn (2011b) destaca cinco características de uma boa teoria científica, “*não porque sejam as mais abrangentes, mas porque são individualmente importantes e, do ponto de vista coletivo, suficientemente variadas para indicar o que está em questão*” (p. 340-341): precisão (a teoria deve estar em concordância com os resultados da experimentação e da observação existentes); consistência (deve ser consistente não apenas no que se refere a seus aspectos internos, ‘mas também com outras teorias correntes aplicáveis a aspectos da natureza que lhe são afins’); abrangência (deve ter um amplo escopo de validade e apresentar consequências que extrapolem as ‘observações, leis ou subteorias particulares cuja explicação motivou a sua formulação’); simplicidade (deve ser estruturalmente simples, ‘levando ordem a fenômenos que, em sua ausência, permaneceriam individualmente isolados e coletivamente confusos’); fecundidade (‘deve ser fértil em novos achados de pesquisa, deve abrir portas para novos fenômenos ou a relações antes ignoradas entre fenômenos já conhecidos’).

Embora esses critérios/valores sejam úteis para avaliar, em geral, os méritos de uma teoria, eles não são suficientes para determinar, de forma inequívoca, uma mesma escolha teórica por dois cientistas entre duas teorias em competição, e Kuhn frisa isto. A subjetividade perpassa seus itens, o que leva diferentes indivíduos a lhes atribuir diferentes pesos ou graus de importância. Certas inclinações ou preferências podem, inclusive, deflagrar conflitos internos, na medida em que, por exemplo, a precisão pode ditar a escolha de uma teoria e a abrangência a de sua concorrente. Concepções filosóficas, metafísicas, religiosas etc. também se somam ao quadro das subjetividades envolvidas em uma definição teórica.

Como ressalta Kuhn, no que se refere a esse tipo de divergência, nenhuma lista de critérios é exaustiva, e muito menos eficaz *per se* (o que, na prática, inviabiliza o estabelecimento de um algoritmo ‘neutro’ para dirimir quaisquer dúvidas). Efetivamente, toda escolha individual entre teorias rivais depende de uma mescla de fatores (ditos) objetivos (compartilhados, usualmente vinculados ao teste e a justificativa da teoria) e subjetivos (idiossincráticos, relacionados à biografia e à personalidade individual). Não obstante, essas peculiaridades que variam de cientista a cientista não comprometem “sua adesão aos cânones que tornam a ciência científica” (Kuhn, 2011b, p. 344).

As cinco características elencadas por Kuhn (2011b, p. 350) “funcionam não como regras que determinam a escolha [teórica], mas como valores:

“Duas pessoas profundamente compromissadas com os mesmos valores podem ainda assim, em situações particulares, fazer escolhas diferentes, como de fato o fazem. Mas a diferença de resultado não deve sugerir que os valores compartilhados pelos cientistas sejam menos do que criticamente importantes para suas decisões ou para o desenvolvimento da atividade da qual participam. Valores como precisão, consistência ou abrangência podem se mostrar ambíguos em sua aplicação individual ou coletiva, ou seja, podem ser uma base insuficiente para um algoritmo partilhado de escolha. Mas especificam muitíssimo o que cada cientista deve considerar para chegar a uma decisão, o que pode ou não considerar relevante e o que se pode legitimamente exigir que ele exponha como base da escolha que fez” (Kuhn, 2011b, p. 350).

Mesmo aplicados de forma subjetiva, valores epistêmicos são integrantes essenciais da ciência.

O filósofo e físico Ernan McMullin (1924-2011) revê a lista de valores explicitadas por Kuhn. Embora se encontre disparidades nas terminologias e nas definições utilizadas por ambos, há semelhanças em suas considerações axiológicas.

“Poder unificador e alcance [abrangência], apesar de similares, não têm, a rigor, a mesma definição. Kuhn entende por alcance [abrangência] a característica de uma teoria ‘estender-se muito para além das observações, leis ou subteorias particulares para as quais ela estava projetada em princípio’, enquanto McMullin interpreta o valor do poder unificador como ‘a habilidade de congregar áreas de pesquisa antes distintas’ [...]. Outras diferenças se apresentam na classificação diferenciada de McMullin à fertilidade (ou fecundidade), e na sua resistência em relação ao valor da simplicidade. Fertilidade, para ele, é um valor de natureza mais complexa, pois nem sempre pode ser avaliado nos primeiros momentos de escolha teórica [...]. O caso da simplicidade é definitivamente mais complicado. Na lista de Kuhn, está em pé de igualdade com os outros, não lhe sendo atribuída qualquer restrição pelo filósofo. McMullin, no entanto, é muito mais cauteloso” (Cordeiro, 2016, p. 47).

Em “Scientific controversy and its termination”, McMullin (2003) apresenta uma classificação envolvendo o término de controvérsias, na qual explicita uma relação entre valores, epistêmicos ou não, e o embate de teorias pela hegemonia do conhecimento na ciência (Raicik & Angotti, 2019). Ele argumenta que uma disputa pode ser considerada resolvida quando um acordo sobre o caso em questão é alcançado em termos daquilo que os participantes envolvidos consideram ser fatores epistêmicos padrão. Não obstante, a resolução não implica em completa convicção de verdade ou garantia de que a visão da comunidade e dos envolvidos seja absolutamente definitiva. Tão somente que a força dos contra-argumentos, de uma maneira ou de outra, é eliminada, ou pelo menos suficientemente diminuída, pelo reconhecimento desses valores epistêmicos. Neste contexto, como na ciência em geral, a aceitação é naturalmente provisória (McMullin, 2003).

Contudo, nem toda querela científica é, de fato, resolvida; elas podem ser encerradas ou simplesmente abandonadas. Na primeira situação, valores não epistêmicos se mostram essenciais e decisivos na disputa teórica. A autoridade de estado, o orgulho, a ambição, a indolência de um estudioso, ou mesmo a retirada de publicações, contribuem para o término do desacordo. No segundo contexto, a disputa meramente desaparece. Os estudiosos envolvidos no debate podem perder o interesse, ficar esgotados ou mesmo virem a falecer.

Casos de encerramento e abandono não são frequentes na ciência. Normalmente, valores não epistêmicos intervêm junto aos epistêmicos em uma disputa, os primeiros causando encerramento, os segundos trabalhando em sua resolução. Por certo, para McMullin, a fertilidade de uma teoria é um valor essencial de sua qualidade epistêmica.

10. A ciência (o empreendimento científico) é uma construção coletiva; o esquecimento ou mesmo o anonimato de muitos de seus personagens é injustificável.

Uma historiografia *whig*, termo usado pelo historiador Herbert Butterfield (1900-1979) em 1931 para criticá-la, é uma história que ignora as tradições de pesquisa de épocas passadas, seus sistemas de crenças, seus valores, suas preocupações (problemas), seus métodos, suas técnicas. Julga a ciência do passado, de forma descontextualizada e reducionista, com os conhecimentos da ciência atual.

A história *whig* é ‘presentista’, linear, acumulativa, anacrônica. Impondo ao passado os padrões do presente, e vendo nesse passado uma preparação para o presente, o foco de suas lentes recai sobre os momentos de glória da ciência. Assim, ela exclui elementos que considera não científicos ou irracionais (mas que a historiografia atual admite serem relevantes e pertinentes à ciência); omite (toda a sorte de) erros, que em nada podem contribuir para o avanço das ideias e do conhecimento; exalta o individualismo na figura de seres

9 O termo whiggish surgiu com o partido político inglês dos Whigs, rivais dos Tories desde o século XVII. “Em termos gerais, os Whigs defendiam uma monarquia constitucional em oposição ao absolutismo monárquico, defendido pelos Tories (...). Na época do ensaio de Butterfield, o termo era aplicado para as histórias que celebravam não o progresso em geral, mas especificamente o triunfo progressista das instituições representativas inglesas e liberdades condicionais. Esse tipo de história era criticada por seu anacronismo resultante da suposição de uma tradição histórica inglesa contínua culminando na forma do então governo parlamentar” (Prestes, 2010, sem página). Nesse contexto, Butterfield aplicou o termo para descrever uma história anacrônica, uma “escrita não histórica da história” (Kragh, 2001, p.104).

especiais, diferenciados, com contribuições relevantes à ciência. Os equívocos desses personagens não são mencionados; quando excepcionalmente emergem, são atribuídos a meros caprichos ou deslizes do gênio. Venerando os expoentes da ciência, o *whiggismo* despreza o envolvimento de um sem número de estudiosos que, direta ou indiretamente, em maior ou menor medida, contribuem para o progresso da ciência. Como bem evidencia Ludwik Fleck (2010), a ênfase em indivíduos isolados é pura e simplesmente resultado de uma reconstrução da ciência que pouco ou nada diz sobre o processo efetivo do desenvolvimento científico. O conhecimento científico é uma criação social por excelência.

De todo modo, não é preciso deixar de lado os olhos críticos do presente ao se analisar o que está por trás de um passado recente, ou mesmo longínquo; é apenas necessário que esse passado seja visto, respeitado e contextualizado à luz de seus problemas e valores. O passado que o historiador estuda, e que o (bom) ensino leva à sala de aula, *“não é um passado morto, mas um passado que, em algum sentido, ainda está vivo no presente”* (Carr, 1982, p. 22). O passado não precisa ser amado pelo historiador (ou pelo estudante), como diz Edward Carr (1982, p. 25); deve-se ser capaz de *“dominá-lo e entendê-lo como a chave para a compreensão do presente”*.

A ideia de que *“há certos fatos básicos que são os mesmos para todos os historiadores, e que formam, por assim dizer, a espinha dorsal da história”* (Carr, 1982, p. 14) deve ser vista com parcimônia. *“Exatidão é um dever, não uma virtude”* (p. 15) do historiador ou de quem quer que se interesse e escreva sobre a história da ciência. Não obstante, esses ‘fatos básicos’ *“normalmente pertencem mais à categoria de matéria prima do historiador do que à própria história... a necessidade de estabelecer estes fatos básicos repousa não em qualquer qualidade dos próprios fatos, mas em uma decisão a priori do historiador”* (p. 14). Os fatos não falam por si; eles são elegidos. É o historiador quem decide que ‘fatos’ vai escolher, e em que ordem e contexto vai situá-los.

“O historiador é necessariamente um selecionador. A convicção em um núcleo sólido de fatos históricos que existem objetiva e independentemente da interpretação do historiador é uma falácia absurda, mas que é muito difícil de erradicar” (Carr, 1982, p. 15).

11. Certos conceitos encontram-se tão profundamente arraigados a convicções teóricas que muitos cientistas têm dificuldades, e por vezes se recusam, a abandoná-los, mesmo sob forte evidência empírica contrária a sua sustentação.

A mudança conceitual, tanto em pequena escala quanto, e principalmente, nos confrontos de grandes estruturas conceituais, tem sido objeto de múltiplas considerações, e divergências, no âmbito da filosofia da ciência, como mostram as teses de Thomas Kuhn (2011a), Karl Popper (1982), Imre Lakatos (1979) e de tantos outros. Por certo, todo conhecimento deve estar aberto ao exame crítico, e ser abandonado quando necessário. Mas o fato é que os estudiosos não abdicam facilmente de suas crenças. A resistência ao novo parece ser muito mais a regra do que a exceção na ciência.

A parábola de Lakatos é bastante emblemática, pois mostra como é possível, em princípio, adiar-se por bastante tempo a refutação de uma teoria:

“A história é a respeito de um caso imaginário de mau comportamento planetário. Valendo-se da mecânica de Newton, da sua lei da gravitação, (N), e das condições iniciais aceitas, I, um físico da era pré-einsteiniana calcula o caminho de um planetasinho recém descoberto, p. Mas o planeta se desvia da trajetória calculada. O nosso físico newtoniano considera, acaso, que o desvio era proibido pela teoria de Newton e, portanto, uma vez estabelecido, refuta a teoria N? Não. Sugere que deve existir um planeta p', até então desconhecido, que perturba a trajetória de p. Calcula a massa, a órbita, etc., desse planeta hipotético e, em seguida, pede a um astrônomo experimental que teste sua hipótese. O planeta p' é tão pequeno que nem o maior dos telescópios disponíveis pode observá-lo: o astrônomo experimental solicita uma verba de pesquisa a fim de construir um telescópio ainda maior. Em três anos o novo telescópio fica pronto. Se o planeta desconhecido p' fosse descoberto seria saudado como uma nova vitória da ciência newtoniana. Mas não o é. Porventura o nosso cientista abandona a teoria de Newton e sua idéia do planeta perturbador? Não. Sugere que uma nuvem de poeira cósmica esconde o planeta de nós. Calcula a localização e as propriedades dessa nuvem e solicita uma verba de pesquisa para enviar uma nave ao espaço a fim de pôr à

prova os seus cálculos. Se os instrumentos do satélite (possivelmente instrumentos novos, baseados numa teoria pouco testada ainda) registrassem a existência da nuvem hipotética, o resultado seria saudado como uma vitória extraordinária da ciência newtoniana. Mas a nuvem não é encontrada. Por acaso o nosso cientista abandona a teoria de Newton, juntamente com a idéia do planeta perturbador e a idéia da nuvem que o esconde? Não. Sugere a existência de um campo magnético naquela região do universo que perturbou os instrumentos do satélite. Um novo satélite é enviado ao espaço. Se o campo magnético fosse encontrado, os newtonianos comemorariam o encontro como uma vitória sensacional. Mas ninguém o encontra. Isto é considerado como uma refutação da ciência newtoniana? Não. Ou se propõe outra engenhosa hipótese auxiliar ou... toda a história é sepultada nos poentos volumes das publicações especializadas, e nunca mais se toca no assunto” (Lakatos, 1979, p. 121-122).

A introdução de hipóteses *ad-hoc* em uma teoria para evitar que ela seja refutada (talvez até prematuramente), ilustra a convicção do cientista à teoria, a sua relutância em abandoná-la pura e simplesmente se, em princípio, há (boas) razões para continuar acreditando em sua validade. Embora esse artifício teórico seja válido, desde que apresente respostas convincentes não apenas para os fatos problemáticos exibidos pela teoria, mas para que também amplie o seu escopo de atuação, fazendo novas previsões passíveis de verificação, o seu uso em excesso é uma indicação de fragilidade da teoria. Essa tarefa pode adquirir contornos quixotescos quando há um outro corpo teórico rival que, no seu quadro conceitual, dá respostas a esses (e a outros) problemas, além de proporcionar novas explicações e previsões.

A resistência à mudança, na ciência, não é de todo um mal. Às vezes ela parece ser mesmo necessária. “Se nos sujeitarmos à crítica com demasiada facilidade nunca descobriremos onde está a verdadeira força das nossas teorias” (Popper, 1979, p. 68).

Entretanto, como as duas faces de Janus¹⁰, escolhas e decisões são sempre necessárias. Um tipo mais ‘raro’ de resistência ao novo, mas de certa forma justificável, é o que se refere a uma descoberta prematura. “Uma descoberta é prematura se não puder ser conectada, por meio de uma série de simples passos lógicos, a um conhecimento canônico da época” (Hook, 2007, p. 29). A falta de receptividade a esse tipo de descoberta expõe os traços mais conservadores de uma ciência aversa à mudança.

12. O conhecimento não parte do nada – de uma tábula rasa – como também não nasce, necessariamente, da observação; seu progresso consiste, fundamentalmente, na modificação do conhecimento precedente. O ato de conhecer se dá contra um conhecimento anterior.

“O pensamento científico [...] não se desenvolve *in vacuo*” (Koyré, 1991, p. 204). As idéias estão sempre envoltas em um conjunto de outras idéias, em um quadro teórico e experimental que exprime os conhecimentos e os valores vigentes. Desde o alvorecer da ciência, o interesse do estudioso pelas obras de seus predecessores é *sine qua non* (condição indispensável) para o desenvolvimento do seu trabalho, pois é conhecendo o que já existe e o que (a seu ver) precisa ser reformulado, ou ainda ser feito, que ele contextualiza, justifica e fundamenta as suas preocupações de pesquisa.

Cumulatividade e ruptura não são conceitos necessariamente antagônicos. Assim, não há contradição quando se entende, por exemplo, que o conhecimento tanto pode se desenvolver de forma contínua, crescendo como a área gerada pela propagação de uma onda em um lago de águas tranquilas, como, em determinados momentos, sofrer grandes transformações, à semelhança de um temporal que assola o lago. Os períodos de ciência normal (onde o conhecimento se acumula por adição, à luz de um referencial teórico amplamente consensual) e de ciência revolucionária (na qual a entrada em cena de um novo corpo teórico produz uma nova imagem do mundo, uma ‘mudança gestáltica’, no sentido de se ‘ver’ algo novo), de Thomas Kuhn (2011a), ilustram isso.

Contudo, o modelo kuhniano para o desenvolvimento científico, com seus períodos de ciência normal, crise, revolução e nova ciência normal, é apenas um, entre muitos, que visam caracterizar a evolução da ciência. Destarte, e com muitas variações, é também possível pensar que a ciência é permanentemente acumulativa.

¹⁰ Janos (Janus, em latim): deus romano das mudanças e transições.

Segundo o filósofo Ernest Nagel (1901-1985), se uma teoria T^* explica com sucesso tudo o que é explicado por uma teoria T e, além disso, aponta e corrige os problemas de T , prevendo com acerto e rigor novos fenômenos, diz-se que T^* subsume T . Mas essa é, na melhor das hipóteses, uma situação muito específica de mudança teórica, da qual T resulta, ou pode ser interpretada, como um caso limite, ou instância particular, de T^* . Na medida que, em geral, T^* : a) propõe novos conceitos; b) reconhece e soluciona problemas não contemplados por T ; c) exclui, por total incompatibilidade, partes significativas de T ; não é possível *reduzir* T^* a T .

De qualquer modo, para os partidários do incremento gradual do conhecimento científico, é sempre viável, através da análise histórica, subdividir grandes passos em partes menores, “e estes em outros ainda menores, até que finalmente pareçam se anular em seu conjunto” (Peduzzi, 2006, p. 64; Sarton apud Cohen, 1985, p. 22).

Seja através de cumulatividade e/ou de rupturas, onde se incluem micro, mini ou macroevoluções e distintos níveis de continuidades, o certo é que a produção de novos conhecimentos, e seu contraste com os já existentes, exige vigilância epistemológica, para posicionamentos claros e bem fundamentados sobre o assunto.

13. A experimentação não tem apenas o papel de corroborar ou de refutar teorias em sua forma final. Ela é parte integrante e essencial do processo de construção do conhecimento, que envolve o diálogo entre as expectativas e convicções teóricas do investigador e as observações que ele realiza.

“Explicações teóricas e verificações empíricas complementam-se e estimulam-se umas às outras”, como observa o físico David Bohm (1917-1992) em “Causalidade e acaso na física moderna” (Bohm, 2015, p. 60). O processo é contínuo e acaba levando ao aperfeiçoamento das teorias, das técnicas experimentais, dos sistemas de análise. Nesse cenário, “a experiência pode fazer parte de procedimentos ainda pouco estruturados, que comportam uma diversidade de caminhos; ela se ajusta ao contexto e à própria situação investigativa” (Praia, Cachapuz & Gil Pérez, 2002, p. 257).

Em contraste, Francis Bacon, considerado por muitos como o primeiro filósofo experimental da ciência moderna, argumentava em sua principal obra, o *Novum Organum* (Bacon, 1979) que para se ter acesso ao conhecimento genuíno dos fenômenos naturais, era preciso fazer pesquisa à luz da experiência metodicamente organizada. A experiência pura e simples, sem planejamento, seria mero tateio que, como tocha apagada na escuridão, nada mais faria do que confundir e obscurecer a mente do experimentador. “A verdadeira ordem da experiência, ao contrário, começa por primeiro, acender o archote e, depois, com o archote mostrar o caminho, começando por uma experiência ordenada e medida – nunca vaga e errática –, dela deduzindo os axiomas e, dos axiomas, enfim, estabelecendo novos experimentos” (Bacon, 1979, I, LXXXII, p. 50).

Não obstante, em “Of the dignity and advancement of learning”¹¹ ele destacou que a invenção das ciências ou das artes procede de duas formas: tanto da indicação de um experimento para outro, quanto dos experimentos para axiomas; axiomas esses que sugerem novos experimentos. A primeira conduta ele chamou de *experientia literata* (experiência instruída), a outra de Interpretação da Natureza ou *Novum Organum*.

A *experientia literata* “é o método escolhido para explorar o mundo natural e para construir as correlações empíricas de coisas” (Georgescu, 2011, p. 109). Em que pese a desatualidade dos fundamentos epistemológicos da filosofia baconiana presentes em seu principal e mais conhecido livro, com sua exarcebada ênfase no método e no valor funcional da observação no processo de constituição e justificação de teorias¹², a experiência instruída indica, como aponta Friedrich Steinle (1957-) (2002), algumas funções epistêmicas importantes da experiência, que incluem diferentes atividades na produção de novos fenômenos e a classificação desses fenômenos. É nesse sentido que ela apresenta nítidas sobreposições com o que se poderia classificar de *experimento exploratório*.

De acordo com a conceitualização de Steinle, os *experimentos exploratórios* representam uma categoria de experimentos que, normalmente, aparecem na ciência em momentos em que não há um quadro teórico de conhecimento bem estabelecido. Conceitos ainda estão sendo elaborados, fenômenos melhor investigados, classificações sendo iniciadas. As experiências são conduzidas, sobretudo, pelo desejo de obter regularidades

¹¹ A obra *Of The Dignity and Advancement of Learning* (1623) é uma versão latina e expandida de *Advancement of Learning*, publicado em 1605.

¹² A metodologia baconiana apresenta-se como “uma espécie de panacéia da invenção e da justificação dos resultados científicos. Deixa de haver criação para passar a existir apenas constação: os resultados obtidos são consequências inevitáveis da aplicação adequada das regras estipuladas” (Oliva, 1990, p. 16-17).

empíricas e “descobrir” conceitos apropriados por meio dos quais essas regularidades podem ser formuladas. Não servem, simplesmente, para corroborar ou refutar teorias. É nesse sentido que Ian Hacking (1936-) (2012) argumenta que o experimento pode ter vida própria. Apesar da sua autonomia quanto à teoria, o experimento pode ser, e muitas vezes o é, sistemático e dirigido, inclusive por objetivos epistêmicos; entender, compreender, “descobrir” (Raicik & Peduzzi, 2015).

A *experimentação exploratória* não perpassa por um processo específico e bem definido, isto é, não segue regras ou métodos prescritivos, como almejava Bacon no *Novum Organum*, mas inclui todo um conjunto de diferentes abordagens experimentais, similares àqueles da *experientia literata*. Algumas características comuns podem ser identificadas quando esses experimentos são analisados. Normalmente, vê-se a busca por uma regularidade empírica, a variação de um grande número de parâmetros experimentais (o tipo de material, as condições sob as quais se encontram, entre outros), a análise de quais parâmetros afetam o efeito/fenômeno em questão e quais são essencialmente necessários, e a possível formação de novos conceitos.

Em cada nova experimentação, o arranjo e a maneira como o experimento vai ser conduzido e analisado tornam-se diferentes e, ainda não são, em sua totalidade, estáveis; estão sujeitos a falhas, a erros, a imprevistos e a especulações casuais. Em semelhança à experiência instruída, Bacon aconselha: *“ninguém deve ser desencorajado ou confundido se as experiências [instruídas] que ele tenta não responderem a sua expectativa. Pois, embora uma experiência bem-sucedida seja mais agradável, uma malsucedida, muitas vezes, não é menos instrutiva”* (Bacon, 1882, p. 83).

A experiência científica é orientada pelo enquadramento teórico do investigador que, em interação com ela, a submete a um interrogatório de respostas não definitivas. Hipóteses, corroboradas ou não, conduzem a novas observações e a novos experimentos que podem ampliar o escopo da pesquisa ao evidenciarem novas regularidades empíricas. Essas, por sua vez, demandam *“novas explicações, seja por modificações nas hipóteses existentes, seja pela revisão de uma ou mais hipóteses subjacentes”* (Bohm, 2015, p. 60).

Hacking (2012) salienta que a experimentação exerce diferentes funções, na busca do entendimento da natureza, na procura de novas “descobertas” e que, portanto, não se enquadra em um método rígido. Algumas experimentações, por exemplo, *“criam fenômenos que não existiam anteriormente em um estado puro”* (p. 57). Esses fenômenos são frutos, não raro, de um intenso diálogo entre o experimento e as hipóteses que foram desenvolvidas antes e durante o processo de construção do conhecimento. Neste contexto, a experimentação deixa de ser apenas corroboradora ou falseadora de uma teoria, passando a possuir um papel independente dela, ou ainda de mesma relevância (Garcia & Estany, 2010).

14. No âmbito da observação e da experimentação na ciência, o acaso (a descoberta acidental, serendípica) só favorece a mente preparada.

A frase *“dans les champs de l’observation le hasard ne favorise que les esprits préparés”* (no campo das observações o acaso só favorece o espírito preparado) (Lejeune, 1998, p. 61; Stauffer, 1953, p. 309), proferida pelo químico francês Louis Pasteur (1822-1895), por ocasião de seu discurso de posse como reitor da Faculdade de Ciências da Universidade de Lille, em 1854, é famosa na história da ciência. Com ela, Pasteur frisava a importância dos conhecimentos, da carga teórica do investigador no desenvolvimento de seu trabalho, ao se referir à controversa questão do acaso na descoberta do físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851), em 1820, de que o conflito elétrico (corrente) em um fio conectado a ambos os polos de uma pilha voltaica produz efeitos magnéticos circulares em torno do fio. Independentemente de ter havido, ou não, predição no episódio de Oersted, *“fatores lógicos, como hipóteses, não eliminam fatores acidentais”* (Kipnis, 2005, p. 20).

Com efeito, certos eventos, ditos casuais, impactam determinados estudiosos, mas não outros, que ficam indiferentes a eles. Reconhecendo o imprevisto, e sua possível fecundidade para a pesquisa, o investigador passa a estudá-lo. Assim, admitir algo ‘novo’ a partir de um acaso não presume neutralidade, já que os acidentes ou ‘erros’ tornam-se descobertas pela sagacidade do estudioso em entender esse novo fato (Roberts 1995). Via de regra, o acaso beneficia os pesquisadores que estão imersos em determinada investigação. *“Profundidade e amplitude de conhecimento são pré-requisitos virtuais”* (Roberts, 1995, p. 16), como adverte o prêmio Nobel Paul Flory (1910-1985) em discurso proferido por ocasião do recebimento da medalha Priestley, conferida pela Sociedade Americana de Química, ou, do contrário, *“a fagulha proverbial do gênio [não só dele, mas do cientista em geral], se ela se manifestar, provavelmente não encontrará nada para incendiar”* (p. 16).

O acaso, como um importante elemento da descoberta científica, muitas vezes é parte de um processo “*pouco ou nada linear e [mesmo] ‘racional’, embora com frequência se apresente dessa maneira em livros textos, em reconstruções históricas e nos relatos dos cientistas*” (Piccolino & Bresadola, 2013, p. 5).

15. A ideia de um experimento – experimento crucial – que, per se, de forma definitiva e inequívoca, permite decidir ‘instantaneamente’ entre teorias ou concepções rivais, é um mito. É bastante complexa a dinâmica entre hipótese, teoria e experimentação na ciência.

Uma ciência empírica exige o teste de hipóteses, a adequação entre a teoria e os fatos. Não obstante, a relação das hipóteses e das teorias com a evidência empírica não é inequívoca, já que se pode questionar, entre outras coisas, a suficiência das condições de contorno (condições iniciais), a correção dos resultados, a objetividade dos fatos. O delineamento experimental, o instrumental utilizado, as técnicas de observação, a coleta, seleção e análise dos dados são pertinentes e satisfatórios? O resultado é incontroverso, a ponto de não suscitar qualquer dúvida ou incerteza? Ele é compatível com apenas uma hipótese ou teoria?

Uma teoria é uma rede de conceitos. Nesse sistema, um conceito adquire significado por sua relação e articulação teórica, lógica e experimental com outros conceitos. Novas hipóteses dentro de um mesmo marco teórico, de um paradigma, demandam definição e aceitação; a experiência pode ser um fator relevante, ou determinante, para que elas se estabeleçam. Porém, no cotidiano (do exercício e) do desenvolvimento de um corpo teórico, não é usual, ou até admissível, sustentar a existência de experimentos cruciais, caso se entenda por este tipo de experimento uma instância de extraordinária envergadura e impacto, com poder de definição instantâneo, capaz de abalar os alicerces teóricos do conhecimento vigente em função de seus resultados. Entretanto, isso não significa ignorar que: “*Certos tipos de descobertas experimentais geram fatos importantíssimos que se tornam parâmetros a respeito dos fenômenos, com os quais toda teoria futura terá de lidar, e que, junto aos parâmetros teóricos comparáveis, acabam nos forçando a uma determinada direção*” (Hacking, 2012, p. 358).

O quadro é teoricamente mais intrincado quando se tem um embate entre duas redes conceituais distintas, entre duas maneiras próprias e peculiares de ver o mundo, e se precisa decidir por uma delas. Vários modelos de desenvolvimento científico, como os propostos por Kuhn e Lakatos, têm aportado esse tema. A matéria é complexa, não reúne consenso e sua abordagem extrapola os limites de uma discussão introdutória. Tomando Kuhn como referência, é possível entender que os interlocutores de diferentes paradigmas enfrentam dificuldades para se fazerem entender, uns aos outros. Isso ocorre porque em um momento de intensa turbulência conceitual, como o que se verifica em um período de ciência revolucionária, os argumentos teóricos e experimentais envolvidos giram em torno de conceitos pertencentes a redes distintas, que eventualmente podem ter, inclusive, a mesma designação, mas que apresentam significados incompatíveis, quando confrontados entre si. Admitindo-se teoricamente a incomensurabilidade dos paradigmas, ou seja, a falta de uma medida comum entre eles, os experimentos (ditos) cruciais, para a escolha paradigmática, não seriam logicamente possíveis. A ‘comunicação’, ou ‘tradução’, embora difícil, existe, como mostra a *praxis* científica. Mesmo assim, o uso do termo ‘experimento crucial’, como uma instância inapelavelmente decisiva, particularmente quando se leva em conta o fator tempo, precisa ser bem ponderado, e justificado, para não ser abatido pela crítica contundente dos que a ele se opõem.

O próprio Kuhn (2011b) enfatizou que livros e até mesmo artigos filosóficos recorrem com frequência aos experimentos ditos cruciais: “*seu emprego como ilustração oferece uma economia necessária à pedagogia científica, mas não esclarecem quase nada acerca das características das escolhas que os cientistas são compelidos a tomar*” (p. 347).

Com os conceitos de programa de pesquisa progressivo e regressivo de Imre Lakatos tem-se um critério para julgar o mérito relativo de programas concorrentes, na medida em que se evidencia o caráter progressivo do novo programa (através de sua capacidade explicativa e poder preditivo) e a fase regressiva ou degenerativa de seu rival (onde se acentuam as inconsistências e abundam as explicações *ad-hoc*).

“Um programa é progressivo quando seu crescimento teórico se antecipa ao seu crescimento empírico, isto é, enquanto continua predizendo fatos novos com algum êxito; é regressivo quando seu crescimento teórico se atrasa com relação ao seu crescimento empírico, ou seja, se só oferece explicações post-hoc de descobrimentos

casuais ou de fatos antecipados e descobertos no seio de um programa rival” (Lakatos, 1986, p. 146).

Por conseguinte, “*se um programa de investigação explica de forma progressiva mais fatos que um programa rival ‘supera’ este último, que pode ser eliminado (ou, caso se prefira, arquivado)*” (Lakatos, 1986, p. 146).

Para Lakatos (1979), no entanto, é apenas à luz de um distanciamento histórico (dos fatos) que se pode atribuir a um experimento a designação de crucial, no sentido de decisivo, inquestionável e inequívoco, quanto a seus resultados. “*Não existem experiências cruciais, se por elas se entenderem experiências capazes de derrubar instantaneamente um programa de pesquisa*” (p. 214). No calor da disputa, do embate entre diferentes perspectivas teóricas de dois programas em competição, isso é uma quimera.

A postura e argumentação de Pierre Duhem (1861-1916) (2014) ao afirmar que a existência de experimentos cruciais é inadmissível, o caráter refutacionista atribuído a esses experimentos por Popper (1982) e a possível atribuição de cruciais apenas em retrospectiva a alguns experimentos na ciência como defendido por Lakatos, evidenciam que o tema é complexo, não apresenta consenso e não possui uma história contínua (Raicik, 2019).

16. A dinâmica da produção de conhecimentos na ciência mostra um processo vivo, criativo, polêmico, questionador, argumentativo. Essa realidade contrasta com a falsa imagem de uma ciência que se apresenta como um corpo árido de fatos e conclusões.

O desenvolvimento científico é usualmente entendido como um empreendimento racional humano não controverso por excelência. De fato, uma ciência que se apresenta aproblemática, linear e cumulativa aos olhos do espectador, que mostra apenas os seus produtos, cobrindo com um véu denso e intransponível os processos de sua construção, exclui o pensamento divergente, torna invisível as rupturas, banaliza as grandes transformações.

A dicotomização entre os contextos da descoberta e da justificativa contribuiu para que se pensasse, por muito tempo, que a ciência deveria ser analisada apenas em termos lógicos, sob o pressuposto da fria e objetiva relação entre os fatos e as teorias. Todavia, quando se explicita o processo científico, verifica-se que não há uma metodologia universal, ou seja, a ciência não se constrói seguindo *um* método; ela é muito mais que um produto, fruto de uma reconstrução lógica. A ciência cresce e se desenvolve em meio a convergências e divergências sobre conceitos, princípios, leis, teorias, modelos, métodos, experiências, resultados, aplicações. O conhecimento científico é um incessante jogo de hipóteses e expectativas lógicas, “*um constante vaivém entre o que pode ser e o que ‘é’, uma permanente discussão e argumentação/contra-argumentação entre a teoria e as observações e as experimentações realizadas*” (Praia, Cachapuz & Gil Pérez, 2002, p. 255). Como uma atividade humana, envolve elementos subjetivos; existem, por exemplo, valores individuais e coletivos que norteiam e influenciam o desenvolvimento científico (Kuhn, 2011b). Nem por isso deixa de haver rigor e objetividade, em geral, na estruturação de conhecimentos. De uma forma ou de outra, os cientistas lidam com suas diferenças e com os desafios da subjetividade discutindo, dando publicidade a seus trabalhos (em correspondências, nas reuniões científicas, nos periódicos) para a análise dos pares e chegando, normalmente, a amplos consensos.

No âmbito de uma ciência plural, dinâmica e diversa não cabe atribuir, equivocadamente, a produção de seu conhecimento exclusivamente a homens. O androcentrismo, que coloca o homem como centro e medida de todas as coisas, é uma concepção retrógrada, mas de raízes profundas no imaginário científico e popular; na sociedade em geral.

“Frequentemente insiste-se, explicitamente, em que o trabalho científico é um domínio reservado a minorias especialmente dotadas, transmitindo expectativas negativas para a maioria dos alunos, e muito em particular, das alunas, com claras discriminações de natureza social e sexual: a ciência é apresentada como uma atividade eminentemente ‘masculina’” (Cachapuz et al., 2005, p. 44).

É preciso reconhecer a ciência, sobretudo, pelo o que ela realmente é: muitas vezes um emaranhado de pensamento e ação, teoria e experimentação (Hacking, 2012). Esse processo contempla casualidades, erros, intuições, ações criativas; produção de homens e mulheres. Afinal, um empreendimento tão complexo e eficaz

como a ciência não pode se restringir à inércia monótona da acriticidade, do método, da pura racionalidade, da masculinidade. A ciência não é singela, mas um profundo e plural labirinto de 'descobertas' e emoções.

17. Controvérsias científicas são constituintes produtivos do processo de elaboração de conhecimentos. Elas explicitam pressupostos teóricos e metodológicos de seus protagonistas, estimulam a criatividade, ensejam novos experimentos, viabilizam a análise de um mesmo conceito ou experimento sob diferentes perspectivas, possibilitam ver que a relação entre uma teoria/concepção teórica e seus fundamentos experimentais nada tem de trivial.

Controvérsias científicas são bastante comuns na história da ciência. Como eventos que explicitam o caráter coletivo e argumentativo do empreendimento científico, representam um dos elementos que mais impulsiona o desenvolvimento da ciência. *“Muitos dos principais passos na ciência, provavelmente todas as mudanças dramáticas, e a maior parte das realizações fundamentais do que hoje tomamos como o avanço ou o progresso do conhecimento científico tem sido controverso e envolveram uma ou outra disputa”* (Machamer, Pera & Baltas, 2000, p. 3).

Há diferentes tipos de controvérsias científicas. Embora muitas delas possam ser entendidas, em termos gerais, como um desacordo, uma querela, entre dois ou mais investigadores¹³, inúmeras outras são caracterizadas por envolverem explicitamente uma disputa pública, conduzida e mantida persistentemente por algum tempo sobre uma matéria considerada polêmica por um certo número de cientistas praticantes (McMullin, 2003; Narasimhan, 2001).

A insistência em dicotomizar resultados científicos e processos de construção do conhecimento, todavia, fizeram com que muitos cientistas e filósofos, imersos no contexto positivista, fossem relutantes quanto ao papel constitutivo das controvérsias no empreendimento científico. Muitos deles alegavam que o produto da ciência é, e teria de ser, uma reconstrução racional, livre de qualquer tipo de conflito. O cientista, amparado por *um* método universal e ahistórico estaria, em princípio, capacitado para reconhecer e resolver todo e qualquer impasse na ciência. Ou seja, controvérsias só seriam admissíveis na ausência deste método; mas isto contrariaria a própria identidade da ciência.

Não obstante, as controvérsias existem e abalam a lógica positivista. As novas concepções filosóficas que surgiram a partir da década de cinquenta do século passado, que hegemonicamente questionaram o método e reconheceram as insuficiências da distinção entre os contextos da descoberta e da justificativa, tornaram evidente que a ciência é problemática, dinâmica e, portanto, passível de controvérsias. Não se constituindo em um ideal puramente lógico, nem sendo regulamentada por um 'árbitro' neutro, a ciência é influenciada por ideias, escolhas, expectativas, preconceitos, crenças, suposições. Logo, as controvérsias podem surgir devido a diferentes controles experimentais, a distintas técnicas e metodologias, a resultados contraditórios, a formalismos matemáticos dissonantes, a polissemia de termos ou entidades, a fraudes na pesquisa, a pluralidade de crenças e ideologias do cientista e da comunidade em que ele se encontra (Machamer, Pera & Baltas, 2000).

Não há regras ou prescrições metodológicas em uma controvérsia científica. Elas abrigam elementos retóricos e dialéticos, subjetividades, um espectro de valores de natureza bastante diversificada (que incluem, por exemplo, simetria, simplicidade, exatidão, poder explicativo, fecundidade), mas isso não implica em falta de objetividade no discurso científico que, nas ciências naturais, não prescinde da adequação empírica, também ela um valor na ciência. De certo, não é incomum restringir a solução de certas controvérsias à base experimental de uma teoria. Para a filosofia positivista, a evidência funcionaria como um árbitro neutro, e permitiria decidir qualquer disputa. Entretanto, a análise da gênese, da dinâmica e do desenrolar de certas controvérsias explicita a relevância do experimento na construção do conhecimento e também pode mostrar que uma mesma experiência pode propiciar o desenvolvimento de diferentes teorias (Kipnis, 2001). Fatos, ou experiências que dão origem às afirmações *de* ou *sobre* eles, envolvem interpretação e, assim, certo grau de construção cognitiva e social. Por isso os próprios fatos podem ser controversos em um debate, uma vez que são delineados por seu contexto histórico.

É claro, controvérsias podem prescindir do experimento. Quando um argumento teórico convincente desequilibra irreversivelmente um dos lados, a solução é sobejamente conceitual. De qualquer maneira, ao se

¹³ Alguns desses desacordos são superficiais e, efêmeros, logo contornados; outros, mais profundos, podem resultar em conflitos que se estendem por muito tempo (anos, às vezes) até que uma solução consensual seja alcançada (Junges, 2013).

analisar um conceito sob diferentes perspectivas em um debate, seja ele no calor da disputa ou no distanciamento histórico dos fatos, o mínimo que se tem, como produto, é uma compreensão muito melhor e mais elaborada do mesmo.

Por certo, a rigorosa pesquisa de controvérsias se torna um meio para se “constituir uma descrição adequada da história e da praxis da ciência. Isso porque as controvérsias são o 'contexto dialógico' natural em que se elaboram as teorias e se constitui progressivamente seu sentido” (Dascal, 1994, p. 77). Isto é, as querelas acendem a chama do desenvolvimento científico (Raicik, Peduzzi & Angotti, 2018).

18. Descobrir é mais do que uma mera observação, um insight, um palpite. A descoberta de algo é um processo complexo, que envolve o reconhecimento tanto de sua existência quanto de sua natureza.

É comum, em geral, associar-se ao termo ‘descoberta’ o ato de uma simples observação. Diz-se, normalmente, que um investigador observou, logo, descobriu alguma coisa. Todavia, a descoberta de algo novo na ciência envolve, sobejamente, procedimentos argumentativos; pré-estabelecidos ou não. Todo argumento requer ‘verificação’, ‘confirmação’, ‘observação’, ‘interpretação’, ‘hipóteses’ que fazem parte da estrutura conceitual de uma descoberta (Hanson, 1967).

“Cada um deles refere-se, por um lado, a algo que os cientistas realmente fazem (...). Mas cada um destes termos, por outro lado, também tem a ver com algum componente analiticamente distinguível do empreendimento científico; eles ajudam a delinear como as teorias científicas e os argumentos científicos são (ou podem ser) constituídos - do ponto de vista lógico e/ou conceitual” (Hanson, 1967, p. 322).

Portanto, torna-se imprescindível que se entenda e se reconheça como algo ocorre e o que ele é para, de fato, dizer-se que se chegou a uma descoberta. A pergunta aparentemente ingênua “quando e por quem algo foi descoberto?” não pode ser interpretada como um pedido de informação, mas sim como uma análise conceitual; “e uma análise conceitual é uma marca [também] da filosofia” (Arabatzis, 2006, p. 227). Kuhn (2011a; 2011b) salienta que seria inviável, em muitas descobertas, elencar e perguntar sobre “onde” e “quem”, uma vez que a noção de descoberta pode ser extraordinariamente excêntrica.

No artigo “An Anatomy of Discovery”, Norwood Hanson (1967) discute e exemplifica a complexidade conceitual de uma descoberta (Raicik & Peduzzi, 2016). Ele esclarece o significado de distintas descobertas, a fim de apresentar as suas peculiares estruturas e processos. Admite ser um equívoco se pensar que uma “descoberta nada tem a ver com a estrutura conceitual dos argumentos e das teorias científicas” (Hanson, 1967, p. 323). Como adverte, “um conceito não analisado é um conceito desconhecido” (p. 321). Algumas descobertas podem ser interpretadas à luz de uma teoria já disponível, enquanto outras não. Certas descobertas podem se referir a propriedades de uma descoberta anterior, enquanto outras podem apresentar ineditismos universais. Há, segundo o autor, ao menos quatro categorizações de descobertas, que surgem em distintos momentos procedimentais de uma investigação científica. Uma delas é a descoberta do tipo ‘trip-over’; aquela que ocorre ao acaso. Qualificada pela ausência de qualquer expectativa ou antecipação em relação a algo, assume-se que, literalmente, o estudioso tropeçou na descoberta. Em qualquer evento casual, que se encontra no domínio dessa categorização (trip-over), emergem os pressupostos conceituais e teóricos subjacentes ao estudioso. Considerar algo novo, a partir de uma casualidade, não presume neutralidade, já que os acidentes ou os ‘erros’ tornam-se descobertas pela sagacidade/persistência do estudioso em entender o novo fato (Roberts, 1995).

Há também descobertas do tipo ‘back-into’, ou seja, resistivas. Determinadas pela oposição teórica ou especulativa às expectativas do estudioso, elas evidenciam que o próprio investigador é, em princípio, contrário e relutante àquilo que foi descoberto. Descobertas resistivas realçam a confiança do cientista em suas próprias concepções teóricas e/ou empíricas.

Certamente, nem todas as descobertas são inesperadas ou não possuem uma expectativa teórica. A descoberta do tipo ‘puzzle-out’ tipifica-se pela procura de respostas a uma indagação; ela é esperada, prevista. As descobertas precisam ser decifradas e interpretadas, como um quebra-cabeça, pois já há uma expectativa teórica e até psicológica do investigador.

Descobertas também podem ser categorizadas por sua busca à generalização. Elas são do tipo ‘subsume and reticulate’, que se referem à unificação. Procuram consolidar duas ou mais teorias de forma teórica e/ou empírica para solucionar um problema ou um novo fenômeno.

Esses quatro conceitos (ou categorizações) de descoberta esclarecem que o processo de descobrir algo na ciência não envolve regras definidas, tampouco reporta-se, única e exclusivamente, às observações. Evidenciam a lógica desse contexto, ainda que uma lógica ‘informal’, por não envolverem um método pré-estabelecido. Cada investigação científica, que leva a uma descoberta, apresenta procedimentos diferenciados que envolvem, dissemelhantemente, atividades de interpretação, análise, revisão. A lógica envolvida em uma descoberta científica não reúne consenso. Kuhn, ao se referir aos trabalhos de Hanson, admite similaridades entre as suas ideias e às desenvolvidas por este autor, mas salienta que não acredita em uma lógica da descoberta, embora pense *“que se possa falar, não a respeito da lógica, mas das circunstâncias, de modo que iluminem a descoberta”* (Kuhn, 2006, p.353).

SOBRE A GÊNESE DAS PROPOSIÇÕES E SEUS DESDOBRAMENTOS

O que é a história do pensamento científico?, pergunta Alexandre Koyré (1892-1964). Ao que ele pondera que é bastante comum ver essa história como *“um cemitério de erros, ou até mesmo uma coleção de monstros relegados com razão ao quarto de despejo e bons apenas para um canteiro de demolição”* (Koyré, 1991, p. 205). É possível dirigir o olhar para o passado, *“um passado já há muito tempo ultrapassado”*, e ver teorias antigas como *“monstros incompreensíveis, ridículas e disformes”* (p. 205). De fato, alguém com esse espírito só seria capaz de ver as teorias no seu ocaso, *“no momento de sua morte, velhas, ressequidas, esclerosadas”*. Em resumo, ele as veria *“como a Belle Heauminière que Rodin mostrou para nós”* (p. 205). Em contrapartida, o historiador as encontra *“em sua primeira e gloriosa juventude, em todo o esplendor de sua beleza. O historiador, re-fazendo e re-correndo a evolução da ciência, apreende as teorias do passado em seu nascimento e vive, com elas, o elan criador do pensamento”* (p. 205).

Essa bela e promissora aventura do espírito, que sempre se renova, deve ser devidamente compartilhada com o historiador da ciência, fazendo-se presente no ensino das ciências naturais e em discussões sobre a natureza da ciência e do trabalho científico. A implementação didática desse empreendimento deve ser compatível com os objetivos de um ensino *da* e *sobre* ciência. Isso, naturalmente, demanda recortes, e cuidados, para não se incorrer: a) em relatos meramente cronológicos e seletivos de resultados positivos (próprios de uma história *whig*); b) em uma pseudo-história (uma história simplificada, desfigurada, cheia de omissões) (Matthews, 1995); em uma quasi-história (uma história falsificada, com aspecto de história genuína, para um fim específico – didático, ideológico etc.) (Whitaker, 1979). Os desafios são grandes, mas são sempre eles que movem os que buscam novos conhecimentos.

As dezoito proposições comentadas neste artigo foram originalmente concebidas para serem articuladas com a história da ciência/física, mais especificamente, com os seis textos que estruturam a disciplina Evolução dos Conceitos da Física dos cursos de Licenciatura (nona fase) e Bacharelado (oitava fase) em Física da Universidade Federal de Santa Catarina, na perspectiva de que o uso de exemplos e contraexemplos históricos favorece a sua melhor apreensão pelo estudante.

Sem negligenciar o que pensam os cientistas que refletem sobre a ciência e seus métodos, *“pois quando se fala de couro os sapateiros têm o direito de ser ouvidos”* (Polkinghorne, 1984, p. 14); mas, e principalmente, afinados com as reflexões da historiografia, filosofia e sociologia da ciência contemporânea e com os resultados de pesquisas em educação científica, os textos¹⁴ abordam um amplo espectro de conteúdos, agrupados em torno de certas temáticas. Assim:

O texto 1, “Força e movimento: de Thales a Galileu”, é constituído por sete capítulos: 1. De Thales a Ptolomeu; 2. A física aristotélica; 3. A física da força impressa e do impetus; 4. As novas concepções do mundo; 5. Galileu e a teoria copernicana; 6. A física de Galileu; 7. As leis de Kepler do movimento planetário.

O texto 2, “Da física e da cosmologia de Descartes à gravitação newtoniana”, contempla os seguintes capítulos: 1. Sobre René Descartes; 2. Sobre Isaac Newton; 3. A física e a cosmologia cartesiana; 4. A dinâmica

¹⁴ www.evolutaodosconceitosdafisica.ufsc.br

das colisões e o surgimento de uma nova física; 5. A gravitação newtoniana; 6. Das resistências à gravitação ao contexto de sua aceitação.

O texto 3, “Do âmbar e da pedra de Hércules à descoberta de Oersted”, tem conteúdos distribuídos em cinco capítulos: 1. Do efeito âmbar à garrafa de Leyden; 2. Prelúdio a eletricidade animal; 3. A teoria de Galvani sobre a eletricidade animal; 4. A controvérsia Galvani-Volta e o surgimento da pilha voltaica; 5. A descoberta (não acidental) de Oersted.

O texto 4, “A relatividade einsteiniana: uma abordagem conceitual e epistemológica” é formado por oito capítulos: 1. Sobre o referencial absoluto newtoniano; 2. O princípio da relatividade de Galileu; 3. Sobre a luz; 4. Da síntese de Maxwell à experiência de Michelson-Morley; 5. Prelúdio à relatividade: Poincaré e Lorentz; 6. A teoria da relatividade especial; 7. Sobre a relatividade geral; 8. Considerações epistemológicas sobre a relatividade einsteiniana.

O texto 5, “Do átomo grego ao átomo de Bohr”, é dividido em cinco capítulos: 1. Do átomo grego ao átomo de Dalton: um percurso através da história da física e da química; 2. Sobre o atomismo do século dezanove; 3. A espectroscopia, o elétron, os raios X e a radioatividade: prelúdio a uma nova física; 4. O quantum elementar de ação; 5. O átomo de Bohr

O texto 6, “Do próton aos quarks de Gell-Mann, Nambu...” possui cinco capítulos: 1. Da formulação teórica à identificação do pósitron; 2. Da transmutação à fissão nuclear; 3. Novas forças e partículas na física; 4. A proliferação hadrônica e novas leis (regras) de conservação; 5. Sobre os quarks de Gell-Mann, Nambu...

Sem embargo, a exemplificação ou contraexemplificação das proposições não se restringe ao possível uso desses textos, ou de outros sobre a história da física (Pires, 2008; Rocha, 2011). A forma aberta e independente como elas são enunciadas e comentadas, dentro do que se propõem, permite o seu vínculo e contraste com uma ampla gama de produções históricas no horizonte da ciência em geral (Bagdonas, Zanetic & Gurgel, 2017; Bernal, 1979; Braga, Guerra & Reis, 2003, 2004, 2005, 2008; Conant & Nash, 1957; Maar, 1999; Ronan, 2001). Efetivamente, a incursão pela história das ciências naturais é uma via com grande potencial para um melhor entendimento da natureza da ciência (Brito *et al.* 2014; Clough & Oslon, 2008; Cordeiro & Peduzzi, 2011; Matthews, 1995; McComas 2002; Oki, 2006; Raicik, 2019; Teixeira, Greca & Freire, 2012; Trembley, 2018; Vilas Boas, Silva & Arruda, 2013).

Em termos educacionais, as proposições e todo arcabouço reflexivo que carregam seus comentários e fundamentos podem subsidiar a análise epistemológica de filmes (“Agora”¹⁵, “Cartesius”¹⁶, “Galileu”¹⁷, Einstein and Eddington”¹⁸), vídeos/séries (Série Comos; BBC - British Broadcasting Corporation; ABC da astronomia, Grandes personagens da história - Desenho animado, National Geographic Channels), hipermídias (Peduzzi, Cordeiro & Nicolodelli, 2012; Silva & Chitolina, 2011), documentos históricos, narrativas históricas (Fernandes, 2012; Metz *et al.*, 2007) enfim, de qualquer produção, didática ou não, relacionada a divulgação da ciência e do trabalho científico, podendo levar a um posicionamento crítico, consciente, sobre as visões de ciência (explícitas ou nas entrelinhas) que essas obras trazem inevitavelmente consigo.

A atualidade e relevância de discussões sobre a natureza da ciência no cenário da pesquisa nacional e internacional torna desejável a sua abordagem em disciplinas de pós-graduação. Neste caso, a forma com que as proposições são apresentadas, sem vínculos específicos com qualquer material em particular, pode se somar a outras ações que visem uma melhor compreensão e aprofundamento desta temática no universo de pesquisadores em formação.

Nesta perspectiva, e a título de exemplo, pode-se citar a implementação das proposições nas disciplinas obrigatórias “Ensino de Ciências e contribuições da Epistemologia” e “Fundamentos Epistemológicos da Educação Científica e Tecnológica”, respectivamente, dos cursos de Mestrado e de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina. As profícuas discussões realizadas em sala de aula, os trabalhos desenvolvidos pelos alunos e sua ampla receptividade têm

¹⁵ Ágora. Direção de Alejandro Amenábar. Espanha: Mod Producciones distribuidora, 2009. (126 min).

¹⁶ Cartesius. Direção de Roberto Rossellini. Itália; França, 1974. (152 min).

¹⁷ Galileu. Direção de Joseh Losey. Reino Unido: Film Theatre americano, 1974. (145 min).

¹⁸ Einstein and Eddington. Direção de Philip Martin. Reino Unido, 2008. (89 min).

demonstrado, inequivocamente, o valor das proposições (e de seus fundamentos) tanto para um melhor entendimento da ciência e de seus processos, como de suas implicações para o ensino.

O livro “Fundamentos Epistemológicos da Educação Científica e Tecnológica: leituras e reflexões” (Peduzzi *et al.*, 2019), que reúne artigos de doutorandos que aceitaram o desafio de transformar em capítulo de livro o trabalho final que desenvolveram, no segundo semestre letivo de 2016, para a disciplina “Fundamentos Epistemológicos da Educação Científica e Tecnológica” é uma demonstração inequívoca da influência do texto das proposições na formação desses estudantes. Constituído por três seções, uma delas trata específica e explicitamente da natureza da ciência; as outras dividem-se entre a epistemologia de Ludwik Fleck e epistemologias do Sul e Pluralismo, que também estabelecem vínculos com as proposições.

Promover reflexões sobre a natureza da ciência em diferentes níveis de ensino é, e sempre será, um desafio, mas necessário, na medida em que pode contribuir para uma formação mais crítica do aluno. Talvez se possa dizer, à luz das pesquisas atuais sobre a temática e fazendo uma paródia de um velho provérbio, citado por Chalmers (1999) na introdução de seu livro “O que é ciência, afinal?”, que começamos (um tanto) confusos, é verdade, mas que, na pior das hipóteses, sem dúvida, permanecemos confusos em um nível mais elevado.

CONSIDERAÇÕES (NEM TÃO) FINAIS (ASSIM)

A ciência é uma atividade social complexa. Refletir e discorrer sobre a sua natureza, mesmo em campos mais específicos do conhecimento, é uma tarefa árdua, sempre acompanhada de um sentimento de incompletude face à dimensão do tema. Ainda assim, ela se faz necessária, para subverter o empirismo das primeiras impressões que, no desejo de compreender, mas sem conhecimento, simplifica e distorce.

Embora o conjunto das proposições inclua um espectro bastante abrangente de conteúdos sobre a natureza da ciência e do trabalho científico, temas relevantes e afins, como a função dos modelos e da modelização na atividade científica, o potencial (e as limitações) das analogias e das metáforas na edificação de conhecimentos, a ética na ciência, o papel das mulheres na ciência, as relações da ciência com a tecnologia, não foram objeto de asserções e discussões específicas. Estes e outros assuntos evidenciam que as proposições não são, e nem pretendem ser, um corpo fechado de conhecimento. Sem ferir ou descaracterizar os seus objetivos, este conjunto está aberto tanto para a inclusão de novos itens quanto para o aperfeiçoamento dos já existentes.

Naturalmente, a abordagem educacional das proposições, em sua íntegra ou através de subconjuntos de seus constituintes, é função do contexto e da situação de ensino: do nível desse ensino, dos conhecimentos envolvidos, do interesse pela discussão de conteúdos metacientíficos, dos objetivos de aprendizagem, das estratégias empregadas para o estudo, análise e exemplificação ou contraexemplificação de seus itens. Em qualquer caso, no âmbito de uma aprendizagem significativa, que destaca a importância da relação triádica professor-aluno-material instrucional, “*o ensino se consoma quando o significado que o aluno capta do material é o significado (ou conjunto de significados) que o professor pretende que esse material tenha para o aluno*” (Gowin, 1981, p. 81).

Em geral, professores (sem uma formação específica) e pesquisadores ainda em processo de formação não têm conhecimento de concepções epistemológicas dos autores que subsidiam as discussões das proposições. Mesmo que estas não sejam estritamente necessárias para compreender o que está em jogo em uma abordagem inicial do tema, elas podem gerar dificuldades. Então, cabe a pergunta: “*o que fazer quando o aprendiz não tem conhecimentos prévios (subsunçores) para dar significado a novos conhecimentos, em uma situação formal de ensino?*” (Moreira, 2013, p. 15).

Em cursos de pós-graduação que contemplam discussões sobre a natureza da ciência em disciplinas de seus currículos, o texto das proposições pode ser utilizado, por exemplo, como um organizador prévio expositivo. Este tipo de organizador visa prover subsunçores aproximados para a ancoragem de novas informações quando estas não são familiares ao sujeito. Neste processo, é essencial o papel do professor na discussão, exemplificação e articulação das proposições. Naturalmente, pressupõe-se que um melhor entendimento de seus fundamentos teóricos seja favorecido pelo engajamento do aluno nas discussões epistemológicas que se dão no decorrer dessas disciplinas.

“Organizadores prévios podem, e devem, ser usados para explicitar ao aluno a relacionabilidade do novo material com conhecimentos que estão na estrutura cognitiva mas o aprendiz não percebe que estão relacionados com o novo” (Moreira, 2013, p. 15). Em disciplinas de graduação sobre a história da física e de outras ciências naturais, este expediente, ou estratégia de ensino, também se aplica ao texto, entre outras coisas, para gerar expectativas com as proposições no começo da disciplina. Mesmo que não se espere, aqui, o aprofundamento teórico das proposições com o desenrolar da disciplina, sua compreensão pode ser favorecida, e estimulada, pelo recorrente e fértil diálogo que aproxima conteúdos específicos (*da ciência*) de conteúdos metacientíficos (*sobre a ciência*). Raíck (2020), a título de exemplo, propõe a utilização do texto como um organizador prévio em duas unidades de ensino potencialmente significativas pensadas tanto para pesquisadores em formação quanto para licenciados e bacharelados em física.

Em síntese, o uso das proposições em situações didáticas requer, como qualquer outro material de ensino, a sua interlocução com estratégias associadas a referenciais educacionais e metodológicos. À vista disso, torna-se necessário, como apontam as pesquisas, pensar-se tanto no seu conteúdo (em termos epistemológicos), como a reflexão coerente e direcionada que se procurou desenvolver em cada asserção, quanto no conhecimento pedagógico desse conteúdo; preocupação evidenciada nas suas implicações para o ensino.

Por certo, não devem pairar dúvidas sobre as amplas possibilidades que se abrem para o uso do texto das proposições na educação científica, certamente, matéria para muita discussão/reflexão e pesquisa. No entanto, é preciso ter sempre em mente que princípios declarativos, *per sí*, tendem a se tornar algo a ser sabido (mecanicamente) e não aprendido (significativamente). Por isso, enfatiza-se a necessária e indispensável inseparabilidade entre o enunciado de uma asserção sobre a natureza da ciência e o significado (via explicação/comentários) que se pretende que ela tenha para o leitor. Nesta direção, se as proposições e seus fundamentos representam a ‘teoria’, os exemplos, sejam eles históricos ou não, são indispensáveis; mas não apenas como constructos ilustrativos, ou de ‘aplicação’, dessa teoria. Também com os exemplos se aprende e apreende a teoria. Da proficuidade deste permanente diálogo emerge a condição que fortalece o argumento na roda viva de uma ciência que sempre intriga e alimenta o espírito inquieto

Agradecimentos

À professora Elen dos Santos Peduzzi pela revisão ortográfica final do texto.

REFERÊNCIAS

- Abd-El-Khalick, F. (2013). Teaching *with* and *about* nature of science, and science teacher knowledge domains. *Science & Education*, 22(9), 2087-2107. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9520-2>
- Abd-El-Khalick, F. (2005). Developing deeper understandings of nature of science: the impact of a philosophy of science course on preservice teacher's views and instructional planning. *International Journal of Science Education*, 27(1), 15-42. <https://doi.org/10.1080/09500690410001673810>
- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: international perspectives. *Science Education*, 88(3), 397-419. <https://doi.org/10.1002/sce.10118>
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (Whole) Science. *Science Education*, 95(3), 518-542. <https://doi.org/10.1002/sce.20432>
- Allchin, D. (2012). Toward clarity on Whole Science and KNOWS. *Science Education*, 96(4), 693-700. <https://doi.org/10.1002/sce.21017>
- Arabatzis, T. (2006). On the inextricability of the context of discovery and the context of justification. In J. Schickore & F. Steinle (Ed.), *Revisiting Discovery and Justification* (pp. 115-130). Springer: Dordrecht.
- Bachelard, G. (1996). *A formação do espírito científico*. Rio de Janeiro, RJ: Contraponto.

- Bachelard, G. (1991). *A filosofia do não*. Lisboa, Portugal: Editorial Presença.
- Bacon, F. (1979). *Novum organum ou verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza*. São Paulo, SP: Abril Cultural.
- Bacon, F. (1882). Of the dignity and advancement of learning, books IV-IX. In J. Spedding, R. L. Ellis & D. D. Heath (Eds). *The Works of Francis Bacon*. Boston: Houghton, Mifflin and Company.
- Bagdonas, A., Zanetic, J., & G. I. (2017). Quem descobriu a expansão do universo? Disputas de prioridade como forma de ensinar cosmologia com uso da história e filosofia da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39(2), e2602. <https://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2016-0257>
- Bastos Filho, J. B. (1998). *O que é uma teoria científica?* Maceió, AL.: EDUFAL.
- Bell, R. L., Blair, L. M., Crawford, B. A., & Lederman, N. G. (2003). Just do it? Impact of a science apprenticeship program on high school students' understandings of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 487-509. <https://doi.org/10.1002/tea.10086>
- Ben-Dov, Y. (1996). *Convite à física*. Rio de Janeiro, RJ: Jorge Zahar.
- Berçot, F. F. (2018). *História da biologia e natureza da ciência na formação inicial de professores; uma sequência didática sobre reprodução animal no século XVIII nos estudos de Charles Bonnet e Abraham Trembley*. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. Recuperado de <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41131/tde-11012019-142836/pt-br.php>
- Bernal, J. D. (1979). *Historia social de la ciencia. 1. La ciencia en la historia; 2. La ciencia de nuestro tiempo*. Barcelona, España: Ediciones Península.
- Boaro, D. A., & Massoni, N. T. (2018). O uso de elementos da história e filosofia da ciência (HFC) em aulas de física em uma disciplina de estágio supervisionado: alguns resultados de pesquisa. *Investigações em Ensino de Ciências*, 23(3), 110-144. <http://dx.doi.org/10.22600/151-8795.ienci2018v23n3p110>
- Bohm, D. (2015). *Causalidade e acaso na física moderna*. Rio de Janeiro, RJ: Contraponto.
- Braga, M., Guerra, A. & Reis, J. C. (2003). *Breve história da ciência moderna. Vol. 1: Convergência de saberes (Idade Média)*. Rio de Janeiro, RJ: Jorge Zahar.
- Braga, M., Guerra, A. & Reis, J. C. (2004). *Breve história da ciência moderna. Vol. 2: Das máquinas do mundo ao universo-máquina (séculos XV a XVII)*. Rio de Janeiro, RJ: Jorge Zahar.
- Braga, M., Guerra, A. & Reis, J. C. (2005). *Breve história da ciência moderna. Vol. 3: Das luzes ao sonho do doutor Frankenstein*. Rio de Janeiro, RJ: Jorge Zahar.
- Braga, M., Guerra, A. & Reis, J. C. (2008). *Breve história da ciência moderna. Vol. 4: A belle-époque da ciência (século XIX)*. Rio de Janeiro, RJ: Jorge Zahar.
- Braghirolli, E. M., Bisi, G. P., Rizzon, L. A., & Nicoletto, U. (1997). *Psicologia geral*. Petrópolis, RJ: Vozes.
- Brito, N. B., Reis, U. V., Talon, I. L. M. & Reis, J. C. O. (2014). História da física no século XIX; discutindo natureza da ciência e suas implicações para o ensino de física em sala de aula. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 7(2), 214-231. Recuperado de https://www.sbh.org.br/revistahistoria/view?ID_REVISTA_HISTORIA=52
- Cachapuz, A., Gil-Perez, G., Carvalho, A. M. P., Praia, J. & Vilches, A. (2005). *A Necessária renovação do ensino das ciências*. São Paulo, SP: Cortez.
- Carr, E. H. (1982). *Que é história?* Rio de Janeiro, RJ: Paz e Terra.

- Chalmers, A. F. (1999). *O que é Ciência Afinal?* São Paulo, SP: Brasiliense.
- Clough, M. P. (2007). Teaching the nature of science to secondary and post-secondary students: questions rather than tenets. *The Pantaneto Forum*, 25.
- Clough, M. P., & Olson, J. K. (2008). Teaching and assessing the nature of science: an introduction. *Science & Education*, 17, 143-145. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9083-9>
- Cohen, I. B. (1985). *Revolution in science*. Cambridge: Harvard University Press.
- Conant, J. B., & Nash, L. K. (1957). *Harvard case histories in experimental science (Vol. 1; Vol. 2)*. Cambridge: Harvard University Press.
- Cordeiro, M. D. (2016). *Ciência e valores na história da fissão nuclear: potencialidades para a educação científica*. Tese de doutorado em Educação Científica e Tecnológica - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Recuperado de <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/168030>
- Cordeiro, M. D., & Peduzzi, L. O. Q. (2011). Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(3), 3601-3601-11. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172011000300019>
- Dascal, M. (1994). Epistemologia, controvérsias e pragmática. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 12, 73-98. Recuperado de https://www.sbh.org.br/revistahistoria/view?ID_REVISTA_HISTORIA=30
- De Broglie, L. (1958). O futuro da física. In: De Broglie et al. (Org.) *Para além da ciência* (13-40). Porto, Portugal: Livraria Tavares Martins.
- Duhem, P. (2014). *A teoria física: seu objeto e sua estrutura*. Rio de Janeiro, RJ: EdUERJ.
- Einstein, A. (1981). *Como vejo o mundo*. Rio de Janeiro, RJ: Nova Fronteira.
- Fernandes, H. S. (2012). *Narrativas históricas, discutindo a natureza da ciência através de uma abordagem histórico-filosófica*. Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro. Recuperado de <http://dippg.cefet-rj.br/ppcte/attachments/article/81/2012%20-%20NARRATIVAS%20HIST%20C3%93RICAS%20DISCUTINDO%20A%20NAT~.pdf>
- Feyerabend, P. (2007). *Contra o método*. São Paulo, SP: UNESP.
- Feyerabend, P. (1977). *Contra o método*. Rio de Janeiro, RJ: F. Alves.
- Fleck, L. (2010). *Gênese e desenvolvimento de um fato científico*. Belo Horizonte, MG: Fabrefactum.
- Forato, T. C. M., Pietrocola, M. & Martins, R. A. (2011). Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), 27-59. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n1p27>
- Garcia, A. E. G., & Estany, A. (2010). Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. *Praxis Filosófica*, 31, 7-24. <https://doi.org/10.25100/pfilosofica.v0i31.3424>
- Georgescu, L. (2011). A new form of knowledge: *Experientia Literata*. *Society and Politic*, 5(2), 104-120.
- Gil Pérez, D., Montoro, I. F., Alís, J. C., Cachapuz, A. & Praia, J. (2001). Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação (Bauru)*, 7(2), 125-153. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132001000200001>
- Gowing, D. B. (1981). *Educating*. Ithaca: Cornell University Press.

- Granés, J. S. (2005). *Isaac Newton: Obra y Contexto una Introducción*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.
- Hacking, I. (2012). *Representar e intervir: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural*. Rio de Janeiro, RJ: EdUERJ.
- Hanson, N. R. (1975). Observação e Interpretação. In: Morgenbesser, S. (Ed.) *Filosofia da Ciência*. São Paulo, SP: Cultrix.
- Hanson, N. R. (1967). An Anatomy of Discovery. *The Journal of Philosophy*, 64(11), 321-352.
<https://doi.org/10.2307/2024301>
- Hanson, N. R. (1958). *Patterns of Discovery: Na inquiry into the conceptual foundations of Science*. Cambridge at the University Press.
- Holton, G. (1979). *A imaginação científica*. Rio de Janeiro, RJ: Zahar.
- Hook, E. B. (2007). Dissonância interdisciplinar e prematuridade: a sugestão de Ida Noddack de fissão nuclear. In: Hook, E. B. (Ed.). *Prematuridade na descoberta científica: sobre resistência e negligência*. São Paulo, SP: Perspectiva.
- Irzik, G. & Nola, R. A. (2011). Family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education*, 20(7), 591-607. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9293-4>
- Iglesias, M. (2004). El giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia: una nueva perspectiva de la actividad experimental. *Opción*, 40(20), 98-119. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-15872004000200006&lng=es&nrm=iso
- Jacob, F. (1998). *Of Flies, Mice, and Men*. Translated by Giselle Weiss. Cambridge: Harvard University Press.
- Jastrow, J. (1900). *Fact and Fable in Psychology*. Boston and New York: Cambridge.
- Jorge, L. (2018). *Na formação de professores e cientistas, uma HQ sobre aspectos da NdC e imagens: encantar-se com os entre-(en)laces*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. Recuperado de <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/191261>
- Junges, A. L. (2013). Desacordo racional e controvérsia científica. *Scientia&Studia*, 11(3), 613-635.
<https://doi.org/10.1590/S1678-31662013000300008>
- Kipnis, N. (2005). Chance in Science: the discovery of Electromagnetism by H.C. Oersted. *Science & Education*, 14, 1-28. <https://doi.org/10.1007/s11191-004-3286-0>
- Kipnis, N. (2001). Scientific controversies in teaching science: the case of Volta. *Science & Education*, 10, 33-49.
<https://doi.org/10.1023/A:1008760521211>
- Koyré, A. (1991). *Estudos de história do pensamento filosófico*. Rio de Janeiro, RJ: Forense Universitária.
- Koyré, A. (1982). *Estudos de história do pensamento científico*. Brasília, DF: Universidade de Brasília.
- Kragh, H. (2001). *Introdução à Historiografia da Ciência*. Porto, Portugal: Porto Editora.
- Kuhn, T. S. (2011a). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo, SP: Perspectiva.
- Kuhn, T. S. (2001b). *A tensão essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica*. São Paulo, SP: Unesp.
- Kuhn, T. S. (2006). *O caminho desde a estrutura*. São Paulo, SP: Unesp.

- Lakatos, I. (1989). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid, España: Alianza.
- Lakatos, I. (1979). O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. In I. Lakatos, I. & A. Musgrave (Eds.). *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo, SP: Cultrix.
- Lakatos, I. (1974). The role of crucial experiments in science. *Studies in History and Philosophy of Science*, 4(4), 309-325. [https://doi.org/10.1016/0039-3681\(74\)90007-7](https://doi.org/10.1016/0039-3681(74)90007-7)
- Langevin, P. (1992). O valor educativo da história das ciências. In R. Gama (Ed.). *Ciência e Técnica: antologia de textos históricos*. São Paulo, SP: T. A. Queiroz.
- Laudan, L. (2011). *O progresso e seus problemas*. São Paulo, SP: Unesp.
- Laudan, L. (2000). Teorias do método: de Platão a Mach. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 10(2), 9-140. Recuperado de <https://www.cle.unicamp.br/eprints/index.php/cadernos/article/view/562>
- Ledermann, N. G. (1992). Student's and teacher's conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359. <https://doi.org/10.1002/tea.3660290404>
- Lejeune, A. (1998). *The concise dictionary of foreign quotations*. London: Stacey London.
- Lopes, A. R. C. (1996). Bachelard: o filósofo da desilusão. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 13(3), 248-273. <https://doi.org/10.5007/%25x>
- Lopes, A. R. C. (1993). Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de ciências. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(3), 324-330.
- Maar, J. H. (1999). *Pequena história da química: dos primórdios a Lavoisier*. Florianópolis, SC: Papa Livro.
- Mach, E. (1972). *On thought experiments*. (Traduzido por Price, W. O & Krimsky, S.) . Recuperado de <https://sites.tufts.edu/sheldonkrimsky/files/2018/05/pub1973OnThoughtExperiments.pdf>
- Machamer, P., Pera, M., & Baltas, A. (2000). Scientific Controversies: An Introduction. In Machamer, P., Pera, M. & Baltas (Ed.). *Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives* (pp. 3-17). New York: Oxford University Press.
- 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. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n3p703>
- Massoni, N. T. (2010). *A epistemologia contemporânea e suas contribuições em diferentes níveis de ensino de física: a questão da mudança epistemológica*. (Tese de doutorado). Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. Recuperado de <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/26489>
- Matthews, M. R. (2012). Changing the focus: from nature of science to features of science. In M. S. Khine (Ed.) *Advances in nature of science research*. Dordrecht: Springer.
- 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. <https://doi.org/10.5007/%25x>
- McComas, W. F. (2008). Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education*, 17, 249-263. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9081-y>
- McComas, W. F. (2004). Keys to teaching the nature of science. *Science Teacher*, 71(9), 24-27. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/24155554>

- McComas, W. F. (2002). The principal elements of the nature of science: dispelling the myths. Adapted from the chapter. In W. F. McComas (Ed.). *The nature of science in science education* (pp. 53-70). New York: Kluwer Academic Publishers.
- McMullin, E. (2003). Scientific controversy and its termination. In H. T. Engelhardt & A. L. Caplan (Eds.). *Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in Science and technology* (pp. 49-92). New York: Cambridge University Press.
- Metz, D., Klassen, S., Mcmillan, B., Clough, M., & Olson, J. (2007). Building a foundation for the use of historical narratives. *Science & Education*, 16, 313-334. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9024-z>
- Moreira, M. A. (2013). Aprendizagem significativa e mapas conceituais. *Textos de Apoio ao Professor de Física*, 24(6). Recuperado de http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24_n6_moreira_pdf
- Moreira, M. A. (2011). *Teorias de aprendizagem*. São Paulo, SP: EPU.
- Moreira, M. A. (2004). Pesquisa básica em educação em ciências: uma visão pessoal. *Revista Chilena de Educación Científica*, 3(1), 10-17.
- Moreira, I. C. (1999). Maupertuis (1698-1759) e o Princípio da Mínima Ação. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 21(1), 172-186. Recuperado de http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v21_172.pdf
- Moreira, M. A. & Ostermann, F. (1993). Sobre o ensino do método científico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 10(2), 108-117. <https://doi.org/10.5007/%25x>
- Moura, B. A. (2014). O que é a natureza da ciência e qual sua relação com a história e filosofia da ciência? *Revista Brasileira de História da Ciência*, 7(1), 32-46. Recuperado de https://www.sbh.org.br/revistahistoria/view?ID_REVISTA_HISTORIA=51
- Narasimhan, M. G. (2001). Controversy in science. *J. Biosci*, 26(3), 299-304. <https://doi.org/10.1007/BF02703738>
- Oki, M. C. (2006). *A história da química possibilitando o conhecimento da natureza da ciência e uma abordagem contextualizada de conceitos químicos*. (Tese de doutorado). Faculdade de Educação, Universidade Federal da Bahia. Salvador, BA. Recuperado de <https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/10854>
- Oliva, A. (1994). Quanto mais teorias, melhor para a ciência? *Ciência Hoje*, 17(99), 14-17.
- Oliva, A. (1990). A hegemonia da concepção empirista de ciência a partir do *Novum Organon* de F. Bacon. In A. Oliva(Ed.). *Epistemologia: a cientificidade em questão* (pp. 11-33). Campinas, SP: Papius.
- Peduzzi, L. O. Q., Brigo, J., Gonçalves, E. O., & Urban, S. (2019). *Fundamentos Epistemológicos da Educação Científica e Tecnológica: Leituras e reflexões*. Mossoró, RN: EDUERN. Recuperado de <https://evolucaodosconceitos.wixsite.com/historia-da-ciencia/livros>
- Peduzzi, L. O. Q., Cordeiro, M. D., & Nicolodelli, D. (2011). *Hipermídia: Evolução dos Conceitos da Física*. Florianópolis, SC: UFSC/EAD/CED/CFM. (ISSN: 9-788580-300154)
- Peduzzi, L. O. Q. (2006). Sobre continuidades e discontinuidades no conhecimento científico: uma discussão centrada na perspectiva kuhniana. In C. C. Silva (Ed.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino* (pp. 59-83). São Paulo, SP: Livraria da Física.
- Peduzzi, L. O. Q. (2005). Sobre a utilização didática da história da ciência. In M. Pietrocola (Ed.). *Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora* (pp. 151-170). Florianópolis, SC: UFSC.

- Piccolino, M., & Bresadola, M. (2013). *Shocking frogs: Galvani, Volta, and the electric origins of neuroscience*. Oxford: Oxford University Press.
- Pires, A. S. T. (2008). *Evolução das ideias da física*. São Paulo, SP: Livraria da Física.
- Polya, G. (1995). *A arte de resolver problemas*. Rio de Janeiro, RJ: Interciência.
- Polkinghorne, J. C. (1984). *O mundo dos quanta*. Portugal: Publicações Europa-América.
- Popper, K. R. (2014). *O mundo de Parmênides*. São Paulo, SP: Unesp.
- Popper, K. R. (1972). *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo, SP: Cultrix.
- Popper, K. R. (1982). *Conjecturas e refutações*. Brasília, DF: Universidade de Brasília.
- Popper, K. R. (1979). A ciência normal e seus perigos. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.). *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo, SP: Cultrix.
- Praia, J., Cachapuz, A. & Gil Perez, D. (2002). A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. *Ciência & Educação (Bauru)*, 8(2), 253-262. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132002000200009>
- Prestes, M. E. B. (2010). O whiggismo proposto por Herbert Butterfield. *Boletim de História e Filosofia da Biologia*, 4(3), 2-4. Recuperado de <http://www.abfhib.org/Boletim/Boletim-HFB-04-n3-Set-2010.htm#Whiggismo1>
- Raick, A. C. (2020, no prelo). Nos embalos da HFC: discussões sobre a experimentação e aspectos relativos à NdC em UEPS. *Experiências em Ensino de Ciências*.
- Raick, A. C. (2019). *Experimentos exploratórios e experimentos cruciais no âmbito de uma controvérsia científica: o caso de Galvani e Volta e suas implicações para o ensino*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. (Tese de doutorado). Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- Raick, A. C., & Angotti, J. A. (2019). A escolha teórica em controvérsias científicas: valores e seus juízos à luz de concepções kuhnianas. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 12(1), 331-349. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v12n1p331>
- Raick, A. C., Peduzzi, L. Q., & Angotti, J. A. (2018). A estrutura conceitual e epistemológica de uma controvérsia científica: implicações para o ensino de ciências. *Experiências em Ensino de Ciências*, 13(1), 42-62. Recuperado de http://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID456/v13_n1_a2018.pdf
- Raick, A. C., & Peduzzi, L. O. Q. (2016). A estrutura conceitual e epistemológica de uma descoberta científica: reflexões para o ensino de ciências. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 9(2), 149-176. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2016v9n2p149>
- Raick, A. C., & Peduzzi, L. O. Q. (2015). Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 8(1), 132-146. Recuperado de https://www.sbh.org.br/revistahistoria/view?ID_REVISTA_HISTORIA=53
- Rocha, J. F. M. (2011). *Origens e evolução das ideias da física*. Salvador, BA: EDUFBA.
- Ronan, C. A. (2001). *História ilustrada da ciência. I. Das origens à Grécia; II. Oriente, Roma e Idade Média; III. Da Renascença à Revolução Científica; IV. A Ciência nos Séculos XIX e XX*. Rio de Janeiro, RJ: Jorge Zahar.
- Roberts, R. M. (1995). *Descobertas acidentais em ciências*. Campinas, SP: Papyrus.

- Rubin, E. (1921). *Visuell wahrgenommene Figure*. Berlin: Gyldendalske Boghandel.
- Sagan, C. (1996). *O mundo assombrado pelos demônios: a ciência vista como uma vela no escuro*. São Paulo, SP: Companhia das Letras.
- Santos, B. S., & Meneses, M. P. (2010). *Epistemologias do Sul*. São Paulo, SP: Cortez.
- Shuplyak, O. (2019). Galeria online. Recuperado de <http://www.art.ber.te.ua/>
- Silva, T., & Chitolina, D. (2011). *Caronte*. Recuperado de <http://tati.fsc.ufsc.br/caronte/index.html>
- Sobieczniak, S. (2017). *História da Física e Natureza da Ciência em Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. SC. Recuperado de <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/186142>
- Spector, B., Strong, R., & LaPorta, T. (2002). Teaching the nature of science as an element of science, technology and society. In W. F. McComas. *The nature of science in science education* (pp. 267-276). New York: Kluwer Academic Publishers.
- Stauffer, R. C. (1953). Persistent errors regarding Oersted's discovery of electromagnetism. *Isis*, 44(4), 307-310. <https://doi.org/10.1086/348253>
- Steinle, F. (2002). Experiments in History and Philosophy of Science. *Perspectives on Science*, 10(4), 408- 432. <https://doi.org/10.1162/106361402322288048>
- Teixeira, E. S., Greca, I. M., & Freire, O. (2012). Uma revisão sistemática das pesquisas 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 *Temas de história e filosofia da ciência no ensino* (pp. 9-40). Natal, RN: EDUFRN.
- Thuillier, P. (1994). *De Arquimedes a Einstein: a face oculta da invenção científica*. Rio de Janeiro, RJ: Jorge Zahaar.
- Vázquez-Alonso, A., 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.
- Videira, A. A. P. (2006). Breves considerações sobre a natureza do método científico. In C. C. Silva (Ed.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino* (pp. 23-40). São Paulo, SP: Livraria da Física.
- Vilas Boas, A., Silva, M. R. & Arruda, S. M. (2013). História da ciência e natureza da ciência: debates e consensos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 30(2), 287-322. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2013v30n2p287>
- Whitaker, M. A. B. (1979). History and Quasi-history in Physics Education Pts I, II. *Physics Education*, 14, 108-112, 239-242. Recuperado de <https://iopscience.iop.org/volume/0031-9120/14>

Recebido em: 28.05.2019

Aceito em: 11.06.2020