

O debate Perrin-Donovan e a revolução química de Lavoisier: reflexões kuhnianas e implicações no ensino de ciências/química

The Perrin-Donovan debate and Lavoisier's chemical revolution: Kuhnian reflections and implications for teaching of science/chemistry

Anabel Cardoso Raicik

Doutora em Educação Científica e Tecnológica

anabelraicik@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6674-8466>

Fábio Peres Gonçalves

Doutor em Educação Científica e Tecnológica

Universidade Federal de Santa Catarina

fabiopgon@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0172-2411>

Recebido em: 21/07/2021

Aceito em: 14/06/2022

RESUMO

Este artigo traz distintos pontos de vista entre uma revolução química primordialmente epistemológica, com ideias de Arthur Donovan, e uma fundamentalmente conceitual, com noções de Carl Perrin, envolvendo o flogisto e o químico Lavoisier. Além disso, analisa em que sentido essas compreensões podem ser entendidas a partir do conceito de revolução científica de Thomas Kuhn e visa subsidiar a atuação e formação de docentes de ciências em possíveis abordagens histórico-filosóficas acerca do tema. Esse resgate junto a interlocuções kuhnianas pode ser esclarecedor para se compreender que mudanças paradigmáticas não envolvem, necessariamente, uma descontinuidade radical, tampouco um processo abrupto.

Palavras-chave: Revolução Química; Thomas Kuhn; Lavoisier; Formação de professores; Ensino de Ciências.

ABSTRACT

This article brings different points of view between a primarily epistemological chemical revolution, with ideas from Arthur Donovan, and a fundamentally conceptual one, with notions from Carl Perrin, involving the phlogiston and the chemist Lavoisier. Moreover, it analyzes in what sense these understandings may be comprehended from the concept of scientific revolution of Thomas Kuhn and aims to subsidize the performance of science teachers in historical-philosophical approaches to the theme. This rescue together with kuhnian perspectives makes it possible to clarify the notion that paradigmatic changes do not necessarily involve a radical discontinuity, nor an abrupt process.

Keywords: Chemical Revolution; Thomas Kuhn; Lavoisier; Teacher training; Science education.

1 Introdução

Em *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Thomas Kuhn (2011) utiliza o episódio envolvendo o flogisto e o químico francês Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) como um exemplar de seu modelo de ciência. Ele considera “que a química pré-lavoisieriana possuía uma doutrina mais ou menos homogênea”. No âmbito de sua concepção de ciência, “isso era fundamental, pois mostrava a existência de um paradigma que produziu anomalias que levaram à nova abordagem de Lavoisier” (MOCELLIN, 2013, p. 106). Kuhn admite que, “embora ainda fosse considerado e aceito como um instrumento de trabalho útil, o paradigma da química do século XVIII [o flogisto] estava perdendo gradualmente seu status ímpar” (KUHN, 2011, p. 100).

Havia uma preocupação relevante em se esclarecer o aumento de peso dos metais depois de sua calcinação, no século XVIII. Para alguns estudiosos, a teoria flogística, que admitia que no processo de queima de um material o flogisto seria liberado para o ar, poderia ser modificada a fim de explicar o fenômeno, sem que ela precisasse ser abandonada; o flogisto poderia ter peso negativo, por exemplo. Distintas versões da teoria foram elaboradas (TOULMIN, 1957). O trabalho de Lavoisier, envolto em uma intensa controvérsia – que passa, inclusive, pela descoberta do oxigênio –, acaba evidenciando que o flogisto não existe. A oxidação de um metal não está relacionada à perda de flogisto pelo metal, mas à sua combinação química com o oxigênio.

A história envolvendo Lavoisier, no entanto, nada tem de trivial (HOLMES, 2000; MCEVOY, 1988; HOYNINGEN-HUENE, 2008; MELHADO, 1990; MOCELLIN, 2003; 2015; MAAR, 1999; 2012; OKI, 2004; ALFONSO-GOLDFARB; FERRAZ, 1993; FILGUEIRAS, 1995). As palavras do historiador da ciência Arthur Donovan à crítica que recebeu do historiador Perrin (1990) ao seu artigo *Lavoisier and the Origins of Modern Chemistry* (DONOVAN, 1988a) ilustra isso: “a reação de Carl Perrin ao meu artigo na *Osiris* indica o quão pouco consenso acadêmico existe não apenas sobre o que Lavoisier fez e como ele fez, mas também sobre como devemos analisar e explicar sua conquista” (DONOVAN, 1990, p. 270).

Em seu estudo, Donovan explicita uma preocupação que evidencia as reinterpretções inerentes ao episódio em questão: A conquista de Lavoisier foi uma revolução *na* química ou uma revolução *para* a química? Para o autor, a revolução ocorreu *para* a química. Ele parte do pressuposto de que o próprio químico concebeu sua revolução àquela que trouxe a química para a ciência. A reforma química fazia parte de um programa mais abrangente para a reconstrução da ciência, e a ênfase de Lavoisier na primazia da relação entre teoria e experimento ostenta um caráter singular para isso; “ele identificou claramente a [metodologia da] física experimental como a ciência que ele acreditava que deveria ser adotada como modelo para a reforma da química” (DONOVAN, 1990, p. 230).

Perrin (1988; 1990), por sua vez, considera que a revolução ocorreu *na* química. Para o historiador, Lavoisier seguiu, efetiva e rotineiramente, uma metodologia oriunda da física experimental; fez uso de instrumentos e medições, conferiu valor à análise quantitativa de dados, preocupou-se com a acuidade experimental. Entretanto, defende que a revolução foi conceitual e teórica no conteúdo de uma ciência existente.

Em síntese, embora existam discordâncias consideráveis sobre a revolução química, e o debate Perrin-Donovan desvela isso, sua análise por dissemelhantes lentes “continua sendo um dos assuntos mais desafiantes e gratificantes da história da ciência” (DONOVAN, 1988b, p. 12). Por conseguinte, os diferentes olhares para o episódio ainda podem contribuir, profícua e significativamente, para discussões e reflexões *de e sobre* a ciência em sala de aula, em distintos níveis.

O caso envolvendo Lavoisier pode evidenciar a importância da metodologia experimental que empregou em sua reforma à química, e obviamente, a relevância de sua construção teórica. Uma vigilância epistemológica do episódio se torna essencial para uma análise fundamentada da ciência, inclusive no ensino. As distintas perspectivas entre Donovan e Perrin – e, aliás, o controverso tema mais amplo: ‘revolução química’ – enaltecem a beleza histórica de uma ciência viva e plural. “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’” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p. 37), como enfatiza o historiador Edward Carr em *Que é história?* (1982).

Nesse sentido, este artigo tem como objetivos: i) analisar em que sentido ideias de Donovan e de Perrin podem ser vistas a partir do conceito de revolução científica kuhniano; ii) subsidiar, por meio da análise exposta, a atuação e formação de professores de ciências/química em possíveis abordagens histórica-filosóficas da revolução química de Lavoisier. Para tanto, o artigo traz inicialmente os distintos pontos de vista entre uma revolução primordialmente epistemológica, com Donovan, e uma revolução fundamentalmente conceitual, com Perrin. Em seguida, apresenta um exame das ideias destes historiadores de modo a interpretá-las a partir do conceito de revolução científica de Kuhn. Cabe ressaltar que o objetivo aqui não é o de analisar a pertinência ou não de como Kuhn utiliza o episódio de Lavoisier para exemplificar seu ‘modelo’ de ciência. Tão somente é o de relacionar, sucintamente, seu conceito de revolução às duas teses históricas. Por fim, traz algumas reflexões ao ensino de ciência/química.

Entende-se que a história da química sob a perspectiva das concepções de Kuhn tem ocupado um espaço na literatura em ensino de ciências a exemplo do que expõem os trabalhos de Oki (2004) e Chamizo (2014, 2017). Matthews (2004), ao apontar a necessidade da comunidade de ensino de ciências se apropriar, de maneira fundamentada e coerente, da história e filosofia da ciência, inclui nesse processo a imperativa leitura aprofundada de conceitos kuhnianos. Um aprofundamento filosófico nesse sentido pode suscitar questões como aquela que intitula o artigo de Filgueiras (1995): *A revolução química de Lavoisier: uma verdadeira revolução?*, ou ainda, como indaga Marr (2012, p. 672): “Até que ponto novos materiais, novos equipamentos e novos métodos levam a uma revolução científica no sentido kuhniano, a uma revolução química no caso?”. Avalia-se que examinar em que sentido as ideias de Donovan e Perrin podem ser interpretadas com base no conceito de revolução científica de Kuhn corrobora a tese defendida por Matthews (2004) e aproxima o ensino de ciências a interlocuções entre a história da ciência, em particular a da química, e a filosofia da ciência.

Isso não exime, por certo, a análise desse episódio histórico sob perspectivas outras que apresentam, igualmente, profícuas implicações no ensino de ciências. Alguns estudos recentes apontam a proficuidade da temática com olhares que não aqueles relacionados a conceitos kuhnianos. Camel, Moura e Guerra (2019), a título de exemplo, resgatam o assunto a partir de uma perspectiva historiográfica pautada na História Cultural da Ciência. Nesse sentido, um entendimento da chamada revolução química pode ser feito a partir da análise de práticas científicas desenvolvidas no contexto (cultural) da época. Com isso, salientam os autores, “é possível problematizar visões que apontem rupturas e heróis, o que acaba por ofuscar a complexidade da construção das ciências e por desvincular o conhecimento científico de sua localidade e temporalidade” (p. 145). De outra parte, estudar o conceito de revolução científica de Kuhn em associação às teses históricas sobreditas, além de favorecer o já exposto com base nas contribuições de Matthews (2004), é um reconhecimento da importância das ideias de Kuhn e de, sobretudo, sua obra *A Estrutura das Revoluções Científicas*; uma das mais citadas na área de ciências sociais¹ e com notável alcance na área ensino de ciências que perdura ao longo das últimas décadas.

2 Donovan, Perrin e a revolução lavoisieriana: na ou para a química?

Em 1988 o reconhecido periódico *Osiris* publicou o volume especial *The Chemical Revolution: Essays in Reinterpretation*. Na introdução aos ensaios ali presentes, enfatiza-se que o *Traité élémentaire de chimie* (Tratado elementar de química) – e, conseqüentemente todo arcabouço que carrega –, que Lavoisier publicou em 1789, suscita inúmeras reflexões acerca de sua revolução científica. As interpretações mais comuns, alinhadas a uma historiografia tradicional, e que concentraram alto grau de consenso, revelaram problemas tanto em relação ao papel da teoria antiflogista quanto à própria noção de revolução nesse episódio, no âmbito de novas concepções que surgem em meados do século passado em termos filosóficos, históricos, sociais, culturais da ciência. Nesse sentido, os trabalhos de Robert Siegfried, Carl Perrin, Frederic Holmes,

1 Ver levantamento na plataforma Google Scholar realizado pelo pesquisador Elliott Green, disponível em: <http://blogs.lse.ac.uk/impactofsocialsciences/2016/05/12/what-are-the-most-cited-publications-in-the-social-sciences-according-to-google-scholar/> Acesso em: 09 jun. 2021.

Snelders, John McEvoy e Arthur Donovan, para citar alguns, visam resgatar a temática a partir de quatro perspectivas: i) De Stahl a Danton: a longa revolução; ii) O núcleo da revolução: problemas de pesquisa e inovações conceituais; iii) Comunidades Nacionais e a recepção à revolução e; iv) Fatores contextuais e esclarecimentos à mudança científica.

A necessidade de reinterpretações do episódio histórico envolvendo a revolução química, nas últimas décadas, a exemplo daqueles presentes no volume especial da *Osiris*, pode ser elucidada com a citação de Goethe, que embora date de 1810, mostra-se atual:

A história do mundo tem de ser reescrita de vez em quando; mas a necessidade de o fazer não surge [necessariamente] por terem sido descobertas muitas [e novas] coisas, e sim porque novas opiniões serão criadas quando uma pessoa, numa era posterior, adota pontos de vista a partir dos quais o passado pode ser inspecionado e avaliado de maneira diferente. O mesmo se passa com a ciência (GOETHE, 1810 *apud* KRAGH, 2001, p. 51).

Em seu artigo *Lavoisier and the Origins of Modern Chemistry*, supracitado, Donovan (1988a) admite que embora se saiba muito sobre como Lavoisier desenvolveu sua teoria química, pouco se reflete acerca de como essa sua reconstrução contribuiu para moldar os objetivos e métodos da ciência naquela época e, inclusive, da química enquanto uma área independente de conhecimento científico. É nesse sentido que ele visa analisar esse episódio em termos de seu conteúdo e contexto. A abordagem lavoiseriana “fazia parte de um programa mais abrangente para a reconstrução da ciência; um programa que foi articulado nas décadas finais do Iluminismo e que continuou no desenvolvimento da ciência na França durante as primeiras décadas do século XIX” (DONOVAN, 1988a, p. 215).

É inevitável, em termos donovaneanos, atribuir importância central ao experimento, assim como o fez Lavoisier, quando se analisa sua metodologia de pesquisa. Mas isso não é suficiente para se entender a amplitude revolucionária que propõe. Donovan (1988a) argumenta que foi a justaposição entre um modelo específico de ciência, oriundo da física experimental, e consequentemente a reconstrução teórica, com a concepção antiflogística – oriunda dessa metodologia –, que permitiu a Lavoisier prever que seu ‘paradigma’ seria revolucionário.

Os trabalhos, em geral, que se debruçam em analisar uma revolução *na* química, sinaliza o historiador, normalmente partem do pressuposto de que tanto a química já estava se conduzindo à sua relativa autonomia, em meados do século XVIII, quanto que os critérios avaliativos de uma teoria, a partir das metodologias que as subsidiam, são relativamente estáveis ao longo do tempo. Mesmo os estudos que defendem uma revolução *para* a química frequentemente simplificam a questão admitindo que os métodos e objetivos da ciência moderna, sobretudo a relação entre teoria e experimentos, também são relativamente estáveis e aplicavam-se, de forma generalizada, às ciências naturais (DONOVAN, 1988a; 1990).

Donovan (1988a), no entanto, frisa que a maioria dos químicos naquele período considerava adequados os modos padrões de investigação científica pautados, sobretudo, em termos qualitativos e sem ênfase na precisão instrumental, enquanto Lavoisier pertencia a um pequeno grupo que acreditava que a química precisava de uma mudança; uma reforma radical. O estudioso “olhou para fora da tradição que recebeu no seu campo (...) em busca de padrões de cientificidade que procurou tornar centrais para aquele campo” (p. 230). Como ele foi notadamente um excelente teórico, sua teoria antiflogística passou a ser melhor aceita, mas é o seu modelo de ciência, com sua definição do domínio da química, que deve ser central em análises sobre sua revolução.

Referenciando-se, também, em importantes estudos dos historiadores Henry Guerlac² (1959) e Thomas Hankins (1985), por exemplo, Donovan (1988a) enfatiza que a revolução estabelecida por Lavoisier contribuiu

2 Aliás, Guerlac (2007) apresenta um exemplar resgate histórico de Lavoisier, traduzido para o português em 2007, no *Dicionário de Biografias Científicas*.

para a ramificação de uma nova ciência: a química moderna; uma disciplina autônoma que passou a ser compreendida como um corpo de conhecimento estruturado de tal forma a estar em equidade à astronomia e à física. Isso não significa negligenciar os distintos estudiosos que produziam ciência naquele e em momentos anteriores. Havia muitas questões sendo estudadas pelos químicos no século XVIII, mas faltava uma espécie de coerência disciplinar – um compromisso de base – aquilo que Lavoisier instituiu com seu modelo para a química.

Perrin (1990) apresenta uma crítica direta a essas colocações³, em seu artigo *Chemistry as Peer of Physics: A Response to Donovan and Melhado on Lavoisier*. Ele concorda que, desde seus primeiros estudos, Lavoisier buscou na física experimental uma mudança à química. Não obstante, discorda veementemente da afirmação de que “investigações mais detalhadas das maneiras em que o termo revolução foi usado no século XVIII sugerem que Lavoisier estava provavelmente sendo menos exato e menos inovador ao antecipar uma revolução na química do que se supôs até agora” (DONOVAN, 1988a, p. 219-220).

Considerou-se, por muito tempo, que Lavoisier havia antecipado teorias filosóficas de progresso científico por meio de revoluções. Em *Cadernos de laboratório* (BERTHELOT, 1902), datado de 1773, o químico chega a expressar que provocaria “uma revolução na física e na química”. A ressalva de Donovan não parece fazer sentido, ao que indica Perrin, ao se analisar quando e como Lavoisier recorre ao termo revolução. Nos trabalhos de 1772, quando o mencionou pela primeira vez, ele o utiliza com cautela, referindo-se a uma revolução na química, passando a considerar, então, uma revolução na física e na química em 1773 e, em 1787, a uma revolução no ensino da química, devido à necessária reforma parcial em sua linguagem. Mas os temas principais relativos à revolução, a saber “uma aplicação sistemática de métodos quantitativos à química e uma teoria embrionária da natureza do ar”, diz Perrin (1988), “já estavam presentes em seu trabalho de meados da década de 1760” (p. 63), embora ele proclame uma revolução apenas anos depois.

Uma análise das origens das pesquisas químicas de Lavoisier, como mostra o artigo de Perrin (1988), *Research Traditions, Lavoisier, and the Chemical Revolution*, pode trazer novas luzes à relação dele com a teoria do flogisto. Tradicionalmente, frisa-se que o químico desde o início de seu contato com o pensamento stahlian, não teria ‘gostado’ do flogisto. Entretanto, como salienta Perrin, o químico não teria recorrido ou se dedicado ao flogisto, no início da década de 1760, por voltar-se a questões consideradas por ele, naquele momento, mais problemáticas, a partir de suas leituras em mineralogia e química. O flogisto não era um conceito ou argumento a ser combatido em seus primeiros trabalhos sobre a composição do gesso e a natureza da água e podia, sem grandes ressalvas, não ser criticado. Isso se justifica, também, pelo fato de não haver uma singularidade na teoria do flogisto; que era utilizado como pano de fundo em distintos estudos, mas de formas diferentes. Desse modo, a título de exemplificação – sem fazer jus ao rigoroso detalhamento histórico que o episódio mereceria – Lavoisier dedica-se, nessa década, à pesquisa da solubilidade de vários materiais em água, com rigorosa precisão e cuidado experimental.

Em uma *Nota* intitulada *Gain of weight of certain materials without addition* (O ganho de peso de certos materiais sem adição), sem data, mas provavelmente de 1765, Lavoisier diz ter observado o aumento de peso de diversos materiais, como antimônio, chumbo, estanho, tijolo, a partir de sua calcinação.

O fenômeno do ganho de peso por materiais sem adição foi um tipo curioso de quebra-cabeça que atraiu a atenção de Lavoisier. Uma vez mais, abriu a possibilidade de uma série de experimentos interessantes para confirmar (ou refutar) o fenômeno, para explorá-lo sob uma variedade de circunstâncias e, em última instância, inferir sua causa. Sua observação sobre o efeito ser devido ao flogisto é enigmática (PERRIN, 1988, p. 62).

Embora relevantes, e sem conclusões esclarecedoras, essas observações não foram aprofundadas naquele momento pelo químico, que admitia que elas demandavam um compromisso de investigação mais rigoroso e detalhado.

3 Também ao artigo de Evan Melhado (1985), intitulado *Chemistry, Physics, and the Chemical Revolution*.

Seguindo com os primeiros sinais de temas ‘revolucionários’, como Perrin (1988) coloca, a partir de 1766, constata-se a influência da física nos estudos químicos lavoisierianos e, principalmente, o preâmbulo de uma jornada teórica e conceitual que, inspirada por uma metodologia experimental quantitativa, elevaria a química a outro patamar. Questões e conjecturas iniciais acerca da formação do ar – primeiras expressões de sua teoria do estado de vapor – o uso de instrumentos de precisão, como termômetros, barômetros, hidrômetros, tanto em estudos químicos, como meteorológicos, enfim, o uso sistemático e eficaz de uma metodologia quantitativa, o distinguia dos químicos da época. Esse é um dos aspectos que o fez suavizar sua ideia de revolução inicialmente.

Em outras palavras, Perrin sustenta que a possibilidade de revolução foi se cristalizando gradualmente, no próprio estudo de Lavoisier, sobretudo a partir de 1772, no qual ele desenvolveu experimentos sobre o papel do ar na calcinação e combustão. Neste ano, ele concentrou-se na função química do ar e ‘descobriu’ que o problema do ganho de peso nos processos de calcinação e combustão devia-se à absorção de ar. Isso significaria que a teoria stahlianiana precisaria ser modificada ou ampliada – não necessariamente derrubada, aqui – e a ‘química’ das composições sofreria radicalmente. Quando “falou pela primeira vez de uma revolução na química, ele claramente queria dizer algo diferente da derrubada de flogisto” (PERRIN, 1987, p. 402). Embora ele ainda “acreditasse no flogisto em 1773 (uma simplificação excessiva), esse compromisso não era de forma alguma incompatível com a sua transformação antecipada da química” (p. 403). A nova teoria da combustão que anunciou em 1777 e o sistema antiflogístico que promoveu em 1785 foram resultado de uma modificação gradual adicional de suas suposições e conceitos. “O avanço mais dramático foi a descoberta de que a água era composta de oxigênio e ar inflamável (hidrogênio)”, afirma Perrin (1987, p. 410), e que ela “corrigiu simultaneamente várias grandes lacunas na teoria de Lavoisier”.

Recorrendo particularmente a citações de Lavoisier, ele frisa que a ideia de revolução

era conceitual e teórica no conteúdo de uma ciência existente. Longe de ser ‘menos exato e menos novo ... do que se supôs até agora’, o significado de Lavoisier era muito mais explícito e preciso do que se suspeita (...) Lavoisier dificilmente poderia ter sido mais explícito; ele possuía um conceito claramente articulado de ‘progresso através da revolução’ duzentos anos antes de Thomas S. Kuhn transformá-lo em uma estrutura interpretativa” (PERRIN, 1990, p. 261).

Para Perrin a ‘descoberta’ do papel do ar foi considerado por Lavoisier como uma descoberta que subverte o sistema de uma época, abrindo novos “cursos de experimentação e raciocínio”; diferentemente daquelas descobertas que, embora significativas, são cumulativas no âmbito de um conhecimento existente.

Lavoisier instituiu um novo e poderoso programa de investigação que lançou luz sobre combustão, calcinação, formação de ácidos, composição de minerais, constituição de substâncias orgânicas, fermentação, respiração, trocas de calor e muito mais. Seu programa estabeleceu novos conceitos (por exemplo, oxidação, vaporização), novos métodos (medidas quantitativas de ar e trocas de calor) e novos pressupostos epistemológicos (o estado operacional de substâncias simples, a visão combinatória da composição química). Os conceitos e métodos que ele introduziu continuaram a se desenvolver com modificações após sua morte, como ocorreram durante sua vida. A química de 1815 e depois não negou a conquista de Lavoisier, mas evoluiu a partir dela - sem uma reviravolta dramática do tipo que os esforços de Lavoisier desencadearam (PERRIN, 1988, p. 81).

Em *Lavoisier as Chemist and Experimental Physicist: A Reply to Perrin*, Donovan (1990) rebate algumas críticas de Perrin ao seu artigo na *Osiris*. Nesse texto, de apenas três páginas – do qual Perrin não pôde apresentar uma tréplica, devido ao seu falecimento – ele enfatiza que longe de ser superficial, a discordância entre eles é profunda ao envolver o que deve ser considerado como central em um resgate da revolução lavoisieriana.

Ambos os historiadores concordam que uma das consequências dessa revolução foi a de elevar a química ao patamar da física. Não obstante esse consenso, de modo provocativo, Donovan questiona Perrin a respeito do que então ‘faltava’ à química para alcançar aquele nível. Para Donovan, a resposta é justamente o rigor experimental, e não necessariamente o sucesso teórico, tal como Perrin defendia.

Ademais, “Perrin erra, em minha opinião”, clarifica Donovan (1990), “ao insistir que a reforma metodológica da química de Lavoisier, modelada na física experimental, foi prontamente aceita por seus colegas, enquanto sua revolução teórica na química sofreu forte resistência” (p. 271). Por certo, Perrin (1990) havia dito que muitos colegas de Lavoisier foram receptivos à sua metodologia, mas resistentes ao arcabouço teórico que propunha. Donovan argumenta ainda que Perrin deu muita importância à própria colocação anterior, de que Lavoisier teria utilizado o termo revolução, inicialmente, de forma muito mais retórica do que propriamente acreditando em uma mudança de grande magnitude.

Em síntese, tanto Donovan quanto Perrin reconhecem que Lavoisier contribuiu consideravelmente, tanto em termos metodológicos quanto conceituais no âmbito da química. Não obstante, enquanto para o primeiro,

a realização de Lavoisier deveria de fato ser chamada de revolução, precisamente porque sua substituição bem-sucedida da teoria do flogisto também envolveu a transformação da química para a ciência, tornando os princípios metodológicos da física experimental centrais para ela (DONOVAN, 1990, p. 272).

Para o segundo,

Insistir (se é que alguém realmente o faz) que a Revolução Química não foi sobre a derubada do flogisto, mas sobre uma nova teoria do estado gasoso, ou uma nova visão da acidez, ou uma nova compreensão da composição, imporia uma interpretação igual a restritiva e distorcida como a tradicional. Investigações recentes da Revolução Química produziram novos insights [como a importância da metodologia], mas não devemos nos permitir ficar tão deslumbrados a ponto de abraçarmos revisões apressadas ou imoderadas (PERRIN, 1988, p. 79).

Para Donovan, a revolução é essencialmente epistemológica. Para Perrin, a revolução é essencialmente conceitual. Essencialmente, pois o foco do debate que travam encontra-se justamente no que deve ser considerado como o âmago da revolução. Uma perspectiva não inviabiliza outra, necessariamente, mas possuem juízos de valor distintos.

3 Pensando as considerações de Donovan e Perrin: um olhar com o conceito de revolução kuhniano

O historiador da ciência I. Bernard Cohen, em *The Eighteenth-Century Origins of the Concept of Scientific Revolution*, enfatiza que no decurso do século XVIII o termo revolução começou a ser empregado por diversos autores para descrever mudanças significativas, tanto nas esferas políticas quanto científicas. Inclusive, Lavoisier o utiliza, como mencionado, em pelo menos três trabalhos. Para Cohen (1976), a revolução lavoisieriana tem “duplo sentido, pois ele deu à Revolução Química seu nome e foi seu principal arquiteto” (p. 281).

Mas ao longo da história a utilização do termo revolução, no que diz respeito à ciência, perdeu sua “vitalidade original” (PERRIN, 1988). Os desenvolvimentos políticos e sociais, sobretudo, haviam trazido uma retórica negativa ao vocábulo no final do século XIX (COHEN, 1976). Muitos estudiosos, inclusive cientistas como Ernest Mach, Ludwig Boltzmann e Albert Einstein, argumentaram que grandes avanços científicos eram antes processos evolutivos do que revolucionários. Na década de 1980, por exemplo, a sua degenerescência fez com que se criasse uma tendência, sobretudo entre historiadores da ciência, a utilizar um termo mais ‘neutro’, o de *transformação* (PERRIN, 1988).

Mas um processo evolutivo impede um revolucionário? A questão, principalmente referente ao episódio químico com Lavoisier, precisa ser levantada a partir de um suposto antagonismo entre processo revolucionário ou evolutivo? A essas indagações, não se busca respostas, necessariamente. Não obstante, uma reflexão das teses de Donovan e Perrin em associação com o conceito de revolução kuhniano pode ser esclarecedora.

Perrin (1988) admite claramente uma revolução a partir de um processo evolutivo:

Uma abordagem promissora é vincular a continuidade cognitiva evidente nas pesquisas de Lavoisier à ruptura final que elas produziram. Lavoisier partiu para sua odisséia química guiado pelos pressupostos stahlianos franceses, embora seus padrões de rigor na experimentação e argumentação fossem determinados por seu treinamento em matemática e física experimental. Ele defendeu a doutrina dos quatro elementos inconversíveis, usou conceitos flogísticos e de afinidade de forma convencional e ficou tão imbuído da linguagem dos princípios químicos que nunca a abandonou inteiramente. Ele leu muito na literatura química e identificou áreas problemáticas, com o objetivo de resolver quebra-cabeças pendentes, estendendo linhas promissoras de pesquisa e introduzindo maior clareza na teoria química (PERRIN, 1988, p. 79).

Por certo, diferentemente de uma visão tradicionalista – que remete a um mal entendimento kuhniano – as revoluções para Kuhn não envolvem uma descontinuidade radical; elas tornam-se especiações que podem apresentar continuidades, em distintos níveis (OLIVEIRA, 2014; HOYNINGEN-HUENE, 2012; 1993; RAICIK; GONÇALVES, 2022). A revolução kuhniana não é uma antítese à evolução, tampouco um processo abrupto; repentino e fortuito. Analisando a história das disciplinas, a sua proliferação, sua multiplicação e, sobretudo, sua especialização, pode-se perceber um processo evolutivo “cujos estágios sucessivos caracterizam-se por uma compreensão sempre mais refinada e detalhada da natureza” (KUHN, 2011, p. 215).

A historiadora Helene Metzger, a qual inclusive foi referência para Kuhn, argumenta que havia, de fato, um conhecimento químico teoricamente bem estabelecido antes de Lavoisier. Desta forma, para ela, os estudos do químico representam “o final de um processo de consolidação teórica” (MOCELLIN, 2013, p. 106), isto é, expressam uma continuidade na evolução das ideias da química. Mas isso não quer dizer, necessariamente, que não houve uma revolução com Lavoisier. Tanto pode-se dizer que houve, ainda que o tema seja controverso, que a questão entre Donovan e Perrin envolve uma reflexão ao que deve ser considerado como cerne (ou o coração) da revolução.

Aliás, Kuhn (2006) frisa que se faz necessário analisar, entender, ponderar e refletir historicamente a natureza e a estrutura dos compromissos de pesquisa de uma disciplina quando de um episódio revolucionário; para entendê-lo e classificá-lo. Assim, ele enfatiza a importância de se perguntar ‘para quem’ a mudança pode ser considerada revolucionária (RAICIK, GONÇALVES, 2022). Donovan foi feliz, e ao encontro das ideias kuhnianas, ao questionar se a revolução ocorreu *na* ou *para* a química. “Se a Revolução Química foi verdadeiramente revolucionária, então deve ter envolvido uma mudança significativa nas premissas orientadoras, ou o que Thomas S. Kuhn chama de paradigmas e exemplos” (DONOVAN, 1990, p. 272).

Esta mudança significativa em componentes de uma matriz disciplinar – ou em outros termos, paradigmas e exemplos compartilhados –, embora com juízos de valor divergentes para Perrin e Donovan, ocorreu com Lavoisier principalmente em termos conceituais e metodológicos. As mudanças e descontinuidades, em um processo de revolução, podem ocorrer em distintos níveis sendo modificações percebidas nas concepções da área de estudo e seus objetivos, nas suas metodologias, nos seus valores etc.

Donovan (1988) explicita que:

Claramente, as teorias interligadas que Lavoisier desenvolveu ao longo de muitos anos e a campanha que liderou para a adoção de uma nova linguagem da química, uma linguagem que torna suas teorias centrais para a própria concepção da ciência, não foram o resultado

de uma única descoberta ou alguma outra experiência ‘eureka’. Elas foram, ao contrário, o resultado de anos de intenso e contínuo trabalho experimental e conceitual, trabalho que foi guiado por certos princípios metodológicos explícitos e por um modelo de como deveria ser a química teórica (p. 226).

Em termos gerais, um evento revolucionário pode apresentar três características, conforme salienta Kuhn (2006): i) mudança holística – em que a modificação central não é fragmentada, há uma mescla de generalizações inter-relacionadas que sofrem mudanças, embora algumas coisas ainda necessitem ser gradualmente completadas; ii) mudança de significado – em que envolve modificação na linguagem, em categorias taxonômicas elementares na descrição e generalização científicas; iii) mudança de similaridade – em que se altera o conhecimento da natureza próprio à linguagem, assim as modificações centrais concentram-se nos modelos, metáforas ou analogias.

Colocando a questão de outra forma, na ciência como na evolução das espécies, o aparecimento de novas formas revolucionárias não implica necessariamente a existência de algum evento causal radicalmente anômalo, como *uma* descoberta que destrói paradigmas. No caso de Lavoisier, foi sua determinação em fazer da química uma ciência modelada na física experimental, ao invés de qualquer conjunto particular de observações experimentais, que o levou de uma investigação de ar fixo e liberado para a realização de uma revolução científica (DONOVAN, 1988, p. 226).

Entretanto, essa análise requer, além de uma visão epistemológica de revolução, uma perspectiva historiográfica contemporânea, para não se incorrer em anacronismos, por exemplo. Uma historiografia mais tradicionalista, que subsidiou distintas análises da revolução lavoisieriana, pode trazer à tona uma transição paradigmática como abrupta; “divisora de águas entre a química primitiva e a moderna” (PERRIN, 1988, p. 79).

A partir de sua analogia com a teoria evolutiva darwiniana, Kuhn (2006) evidencia a especiação de disciplinas. Nesse caso, grosso modo, uma das implicações revolucionárias poderia ser aquela que ajudou a instituir, se não a instituiu por si, a química moderna na ciência. Mas isso é ponderado por similaridade. “Depois de uma revolução, geralmente são encontradas mais especialidades cognitivas ou campos de conhecimento do que havia antes” (p. 124). Um processo de especialização pode ocasionar o desenvolvimento de ferramentas, linguagens, metodologias mais direcionadas e que resolvem um maior número de quebra-cabeças. Para Kuhn, em síntese, “as revoluções tornam-se especiações que, em diferentes graus, apresentam continuidades e contribuem para a evolução da ciência” (RAICIK; GONÇALVES, 2022, p. 379).

A compreensão de revolução por meio de evoluções que contribuem ao progresso científico não ignora, portanto, o “contexto da química do século XVIII”, que impressiona pela “continuidade da investigação química ao longo do período e a riqueza de seus temas negligenciados” (PERRIN, 1988, p. 79), ao passo que exemplifica uma revolução de grande magnitude.

A suposição predominante entre os historiadores da revolução tem sido de fato que seu principal resultado foi a criação de uma nova ciência [...]. No entanto, como Helene Metzger apontou há muito tempo, ‘apenas reformamos, apenas transformamos, o que já existe’ (MELHADO, 1990, p. 273).

Entretanto, Perrin (1988) indaga: “Devemos então concluir que não houve revoluções na ciência, mas sim apenas transformações?” Ao que parece uma resposta ponderada, explícita que:

Qualquer linha que tentemos traçar entre revoluções e outras transformações será arbitrária. Ainda assim, existem episódios na história da ciência que se destacam não apenas em virtude das profundas mudanças que eles provocaram, mas também do drama que

os acompanham [...]. O episódio lavoisieriano não apenas resultou em uma profunda mudança intelectual com dimensões conceituais, metodológicas e epistemológicas; foi acompanhado por um deslocamento social [...]. Não vejo mal em manter um termo dramático para descrever um evento dramático, que perturba a ordem intelectual e social existente de uma disciplina científica [...]. Enquanto a metáfora da revolução continuar a ser aplicada à mudança científica, acho que podemos continuar em sã consciência falando da revolução na química como um exemplo clássico (PERRIN, 1988, p. 81).

Ele considera que a revolução na química, com Lavoisier, evidencia que os estudiosos podem e se convertem a novas teorias, mas isso ocorre de forma gradual e complexa, e não absolutamente abrupta (PERRIN, 1988), o que também é condizente com uma perspectiva conceitual kuhniana de revolução.

Em síntese, a discussão que Donovan e Perrin travam acerca da revolução *na* ou *para* a química com Lavoisier suscita reflexões, sobretudo, em torno da própria ideia de revolução, e interlocuções kuhnianas podem ser esclarecedoras para se compreender que mudanças paradigmáticas não são abruptas e absolutas como salientado. Compreender que cumulatividade e ruptura não são conceitos necessariamente antagônicos (na obra de Kuhn), torna-se relevante para refletir aspectos relativos à própria natureza da ciência.

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 (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p. 38).

Além disso, uma historiografia mais reflexiva, como aquela dos dois historiadores, evidencia o quanto o episódio precisa ser abordado com cautela e pode ainda ser muito explorado. A atenção ao termo revolução não é descabida. Para Perrin (1987) uma distinção precisa ser feita entre revolução e reforma, no âmbito de mudanças científicas. Ele tem um artigo cujo título evidencia sua preocupação com essa temática: *Revolution or Reform: The Chemical Revolution and Eighteenth-Century Conceptions of Scientific Change*, citado inclusive por Donovan, mas não discutido por ele; e que se caracteriza como uma implicação aos aprofundamentos à história de Lavoisier.

Para além de discussões envolvendo o próprio entendimento de revolução, ou mais especificamente as teses divergentes aqui resgatadas, que certamente enriquecem a própria noção de uma ciência dinâmica, plural, passível de distintas análises, o episódio em questão suscita ponderações em torno do componente empírico na ciência.

A experimentação no século XVIII passa a adquirir cada vez mais especificidades à luz da consolidação e unificação da concepção baconiana-newtoniana, e Lavoisier não estava alheio a isso. Como ressalta Mocellin (2003, p. 57): “na química de Lavoisier, encontramos elementos epistemológicos de pelo menos dois programas de pesquisas distintos: o da química tradicional e o newtoniano”. Naquele contexto, conforme salienta Donovan (1990), não bastava se declarar newtoniano. Lavoisier, por certo, fez para além disso. Ele tomou como modelo para química a nova abordagem da física experimental, como sobredito.

4 Desfecho de um tema incessante com implicações ao ensino de ciências e química

A inserção e discussão de aspectos históricos e filosóficos da ciência no ensino têm sido defendidas há décadas e nos últimos anos um crescente número de trabalhos tem se preocupado com o uso da História e Filosofia da Ciência no ensino (PEDUZZI, 2005; 2011; MATTHEWS, 1995; FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011). Discussões relativas à Natureza da Ciência, um dos objetivos da educação científica na

atualidade, podem ser viabilizadas por meio dessa abordagem (PEDUZZI; RAICIK, 2020; MOURA, 2014); reflexões envolvendo a dinâmica da ciência, a relevância de se analisar seus aspectos metodológicos, questões relativas à própria revolução, evolução e progresso científico.

No ensino de ciências da natureza (física, química, biologia), ainda permeiam concepções epistemológicas limitadas sobre o próprio desenvolvimento científico. Ideias prévias de estudantes, discursos de alguns professores menos familiarizados com questões da epistemologia contemporânea, materiais didáticos e paradidáticos, não raro, perpetuam uma visão empírico-indutivista da ciência – realçando o papel neutro das observações e omitindo hipóteses (re)orientadoras da prática científica – e, inclusive, visões que limitam o experimento a apenas corroborar ou refutar teorias, que há *um* método científico, que o conhecimento é puramente acumulativo etc. (EL-HANI, 2006; FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; GONÇALVES; MARQUES, 2006; GIL PÉREZ *et al.*, 2001; MOREIRA; OSTERMANN, 1993).

Entende-se que o estudo do debate entre Perrin e Donovan a respeito da revolução *na* ou *para* a química com as contribuições de Lavoisier, enriquecido com interlocuções kuhnianas, pode colaborar para promover uma compreensão epistemológica da experimentação no ensino de ciências por meio de análises histórico-filosóficas da ciência. O desafio a ser enfrentado talvez seja o de *como* incorporar essas discussões e reflexões entre professores e alunos (MOURA, 2014). Galiazzi e Gonçalves (2004, p. 327) ressaltam que: “não é novidade afirmar que, em geral, professores e alunos de cursos de Química têm uma visão simplista sobre a experimentação. Muitas dessas visões pessoais estão cunhadas pelo empirismo do observar para teorizar”. Essa noção, no entanto, não se restringe à química, mas se estende, comumente, à física e às ciências da natureza.

Particularmente no ensino de química há indicativos de que formadores de professores tratam a experimentação sob uma abordagem histórica e epistemológica na formação inicial de professores (GONÇALVES; MARQUES, 2006). Uma característica desse enfoque, no entanto, é a centralização da discussão no enfrentamento de uma visão empírico-indutivista (GONÇALVES; MARQUES, 2016) na qual sobreleva-se que “as teorias científicas são derivadas de maneira rigorosa da obtenção dos dados da experiência adquiridos por observação e experimento” (CHALMERS, 1993, p. 23). Isso sugere que ainda há pouco espaço ou perspectiva, no ambiente escolar, em distintos níveis, para a discussão de possíveis papéis dos experimentos, de sua relação dinâmica com hipóteses, de uma reflexão concreta da natureza epistemológica da experimentação no desenvolvimento científico.

Como apontam Raicik (2015; 2019), Gonçalves e Marques (2006) e tantos outros, faz-se necessário refletir acerca da natureza epistemológica da experimentação, de forma que o próprio desenvolvimento de atividades experimentais, seja sob um viés histórico ou não, possa fomentar uma melhor compreensão, por parte de estudantes, do papel da experimentação na produção de conhecimentos na ciência; e um resgate histórico da revolução de Lavoisier pode subsidiar reflexões nesse sentido. “O passado não precisa ser amado pelo historiador (ou pelo estudante), como diz Edward Carr; deve-se ser capaz de ‘dominá-lo e entendê-lo como a chave para a compreensão do presente’” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p. 37).

Em síntese, e à luz dos distintos enfoques que o episódio permite aprofundar, “a revolução química continuará a ser considerada um dos eventos centrais na história da ciência moderna, por mais que mudem nossas visões sobre as revoluções científicas e seu papel no avanço da ciência” (DONOVAN, 1988b, p.11).

O debate Perrin-Donovan mostra o quanto o tema continua passível de análises históricas, epistemológicas, sociais, culturais e com profícuas implicações no ensino de ciências. Este artigo buscou salientar nuances de um dos galhos de uma árvore que, com raízes firmes, continua a florescer.

Referências

- ALFONSO-GOLDFARB, A.M.; FERRAZ, M.H.M. As possíveis origens da química moderna. *Química Nova*, v. 16, n. 1, 1993, p. 63-68.
- BERTHELOT, M. *La Révolution Chimique Lavoisier*. Paris: Félix Alcan Editeur, 1902.
- CAMEL, T.O.; MOURA, C.; GUERRA, A. Revolução química e historiografia: uma releitura a partir da história cultural da ciência para o ensino de química. *Educación Química*, v. 30, n. 1, 2019, p. 136-148.
- CARR, E.H. *Que é história?* Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1982.
- CHALMERS, A.F. *O que é ciência afinal?* São Paulo: Brasiliense, 1993.
- CHAMIZO, J.A. The Role of Instruments in Three Chemical Revolutions. *Science & Education*, v. 23, 2014, p. 955-982.
- CHAMIZO, J.A. La cuarta revolución química (1945-1966). De las sustancias a las especies químicas. *Educación Química*, v. 28, 2017, p. 202-210.
- COHEN, B.I. The Eighteenth-Century Origins of the Concept of Scientific Revolution. *Journal of the History of Ideas*, v. 37, n. 2, 1976, p. 257-288.
- DONOVAN, A. Lavoisier and the Origins of Modern Chemistry. *Osiris*, v. 4, 1988a, p. 214-231.
- DONOVAN, A. Introduction. *Osiris*, v. 4, 1988b, p. 4-12.
- DONOVAN, A. Lavoisier as Chemist and Experimental Physicist: A Reply to Perrin. *Isis*, v. 81, n. 2, 1990, p. 270-272.
- EL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de história e filosofia das ciências na educação científica de nível superior. In: SILVA, C.C. (Org.). *História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências: Da Teoria à Sala de Aula*. São Paulo: Livraria da Física, 2006, p. 3-21.
- FILGUEIRAS, C.A.L. A revolução química de Lavoisier: uma verdadeira revolução? *Química Nova*, v. 18, n. 2, 1995, p. 219-224.
- FORATO, T.C.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R.A. Historiografia e Natureza da Ciência da Sala de Aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, n. 1, 2011, p. 27-59.
- GALLIAZZI, C.M.; GONÇALAVES, F.P. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em química. *Química Nova*, v. 27, n. 2, 2004, p. 326-331.
- GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I.F.; ALÍS, J.C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, v. 7, n. 2, 2001, p. 125-153.
- GONÇALVES, F.P.; MARQUES, C.A. Contribuições pedagógicas e epistemológicas em textos de Experimentação no ensino de química. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 11, 2006, p. 219-238.
- GONÇALVES, F.P.; MARQUES, C.A. A experimentação na docência de formadores da área de ensino de Química. *Química Nova na Escola*, v. 38, n. 1, 2016, p. 84-98.
- GUERLAC, H. Lavoisier. In: GILLISPIE, C.C. (Org.). *Dicionário de biografias científicas*. PEREIRA, C.A. (Trad.) Rio de Janeiro: Contraponto, 2007, p. 1557-1582.
- GUERLAC, H. French Antecedents of the Chemical Revolution. *Chymia*, v. 5, 1959, p. 73-112.
- HANKINS, T. *Science and the Enlightenment*. Cambridge Studies in the History of Science. Cambridge: Cambridge University Press, 1985, p. 81-112.
- HOLMES, F.F. The 'Revolution in Chemistry and Physics': Overthrow of a Reigning Paradigm or Competition between Contemporary Research Programs? *Isis*, v. 91, 2000, p. 735-753.
- HOYNINGEN-HUENE, P. A concepção de incomensurabilidade de Kuhn. In: ABRAHÃO, L.H.L. (Ed.). *Kuhn, Feyerabend e Incomensurabilidade*. São Leopoldo: Unisinos, 2012, p. 73-85.
- HOYNINGEN-HUENE, P. Thomas Kuhn and the chemical Revolution. *Found Chem*, v. 10, 2008, p. 101-115.
- HOYNINGEN-HUENE, P. *Reconstructing Scientific Revolutions: Thomas S. Kuhn's Philosophy of Science*. Chicago & London: The University of Chicago Press, 1993.
- KRAGH, H. *Introdução à Historiografia da Ciência*. Porto: Porto, 2001.

- KUHN, T.S. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 2011a.
- KUHN, T.S. *O caminho desde A Estrutura*. São Paulo: Unesp, 2006.
- MAAR, J.H. Materiais, equipamentos, métodos e objetivos: outra revolução química? *Scientiae Studia*, v. 10, n. 4, 2012, p. 671-680.
- MAAR, J.H. *Pequena História da Química*. Florianópolis: Papa-Livro, 1999.
- MATTHEWS, M.R. Thomas Kuhn's impact on science education: What lessons can be learned? *Science Education*, v. 88, n. 1, 2004, p. 90-118.
- MATTHEWS, M.R. História, filosofia, e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 12, n. 3, 1995, p. 164-214.
- MCEVOY, J.G. Continuity and Discontinuity in the Chemical Revolution. *Osiris*, v. 4, , 1988 p. 195-2013.
- MELHADO, E.M. On the Historiography of Science: A Reply to Perrin. *Isis*, v. 81, n. 2, 1990, p. 273-276.
- MELHADO, E.M. Chemistry, Physics, and the Chemical Revolution. *Isis*, v. 76, n. 2, 1985, p 195-211.
- MOCELLIN, R.C. *Lavoisier e a Longa Revolução na Química*. Dissertação [mestrado]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- MOCELLIN, R.C. A revolução química na Estrutura. In: CONDÉ, M.L.L.; PENNA-FORTE, M.A. *Thomas Kuhn: A Estrutura das Revoluções Científicas [50 anos]*. Belo Horizonte: Fino Traço, 2013, p. 101-119.
- MOCELLIN, R.C. Química e Modernidade. *Cadernos Pet de Filosofia*, v. 16, 2015, p. 9-26.
- MOREIRA, A.M.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 10, n. 2, 1993, p. 108-117.
- MOURA, B.A. O que é a natureza da ciência e qual sua relação com a história e filosofia da ciência? *Revista Brasileira de História da Ciência*, v. 7, n. 1, 2014, p. 32-46.
- OKI, M.C.M. Paradigmas, Crises e Revoluções: A história da química na perspectiva kuhniana. *Química Nova na Escola*, v. 20, 2004, p. 32-37.
- OLIVEIRA, M.J. Kuhn e o conceito de revolução. In: CONTE, J.; MORTARI, C.A. (Orgs.), *Temas em filosofia contemporânea*. Florianópolis: NEL/UFSC, 2014, p. 11-26.
- PEDUZZI, L.O.Q.; RAICIK, A.C. Sobre A Natureza Da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a História da Ciência. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 25, n. 2, 2020, p. 19-55.
- PEDUZZI, L.O.Q. Sobre a utilização didática da história da ciência. In: PIETROCOLA, M. (Ed.). *Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora*. Florianópolis: UFSC, 2005, p. 151-170.
- PEDUZZI, L.O.Q. *Evolução dos Conceitos da Física*. 1. ed. Florianópolis: UFSC/EAD/ CED/CFM, 2011.
- PERRIN, C.E. Chemistry as Peer of Physics: A Response to Donovan and Melhado on Lavoisier. *Isis*, v. 81, n. 2, 1990, p. 259-270.
- PERRIN, C.E. Research Traditions, Lavoisier, and the Chemical Revolution. *Osiris*, v. 4, 1988, p. 53-81.
- PERRIN, C.E. Revolution or reform: the chemical revolution and eighteenth century concepts of scientific change. *Hist. Sci*, v. 25, 1987, p. 395-423.
- RAICIK, A.C.; GONÇALVES, F.P. (Re)Pensando Thomas Kuhn: reflexões sobre mal-entendidos da Estrutura e suas implicações para o ensino de ciências. *REXE- Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, v. 21, n. 45, 2022, p. 366-394.
- RAICIK, A.C. *Experimentos exploratórios e experimentos cruciais no âmbito de uma controvérsia científica: o caso de Galvani e Volta e suas implicações para o ensino*. Tese [doutorado] Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.
- RAICIK, A.C. *Experimentos exploratórios: os contextos da descoberta e da justificativa nos trabalhos de Gray e Du Fay*. Dissertação [mestrado] Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.
- TOULMIN, S.E. Crucial Experiments: Priestley and Lavoisier. *Journal of the History of Ideas*, v. 18, n. 2, 1957, p. 205-220.