

A ESTRUTURA CONCEITUAL E EPISTEMOLÓGICA DE UMA CONTROVÉRSIA CIENTÍFICA: IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

The conceptual and epistemological structure of a scientific controversy: implications for the teaching of sciences

Anabel Cardoso Raicik [anabelraicik@gmail.com]

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

José André Peres Angotti [zeangotti@gmail.com]

Universidade Federal de Santa Catarina –UFSC

Campus Universitário Trindade

CEP 88040-900 - Florianópolis - SC

Resumo

A questão do que vem a ser uma controvérsia científica, e suas possíveis classificações, é bastante peculiar. Este artigo visa contextualizar definições de controvérsias científicas, algumas de suas principais origens, e possíveis classificações, como as de Baltas (2000) e Goodwin (2013). Nessa perspectiva, propõe e exemplifica três tipos de controvérsias científicas: as analíticas, as resistivas e as argumentativas. Por fim, discute de que forma essas reflexões podem ser frutíferas para explorar aspectos relativos à Natureza da Ciência em sala de aula.

Palavras-chave: Controvérsia científica; Tipos de controvérsias; Natureza da Ciência.

Abstract

The question of what is it a controversy scientific, and its possible classifications, is quite peculiar. This article aims to contextualize definitions of scientific controversies, some of its main origins and possible classifications, such as those of Baltas (2000) and Goodwin (2013). From this perspective, it proposes and exemplifies three types of scientific controversies: analytical, resistive and argumentative. Finally, it is discussed how these reflections could be fruitful to explore aspects related to the Nature of Science in the classroom.

Keywords: Scientific controversy; Types of controversies; Nature of Science.

Introdução

Controvérsias estão presentes nos mais variados campos de conhecimento, sejam eles político, social, tecnológico, religioso, científico, etc. Como elas surgem e a maneira com que se desenvolvem e são resolvidas, normalmente, divergem em cada área e não é incomum diferentes gêneros de controvérsia estarem interligados (Engelhardt & Caplan, 2003). Na ciência é visível que inúmeros avanços importantes, e mudanças dramáticas, envolveram algum tipo de controvérsia. A ciência tem como uma de suas capacidades mais fascinantes a propensão de ser controversa. Não obstante, o reconhecimento da sua pertinência nem sempre foi considerado. Os filósofos e estudiosos que deram origem à ciência moderna, por exemplo, estavam fortemente ligados à ideia de que a ciência é incontroversa. O princípio desse pensamento estava na percepção de que a natureza tem sua própria ordem e que existe um método universal para decifrá-la (Pera, 2000).

Isto não implicava a inexistência de desacordos, mas tão somente que conflitos deveriam ser rápida e definitivamente resolvidos. A suposta “essência” da ciência – seu produto final ou sua reconstrução racional – teria de envolver apenas argumentos lógicos, livre de disputas. No *Novum Organum*, por exemplo, Francis Bacon apresenta um método que nivelaria a inteligência do homem e, portanto, poria fim a qualquer querela. A raiz disso está no entendimento de que é preciso dominar a natureza, não adversários. “A natureza supera em muito, em complexidade, os sentidos e o intelecto. Todas aquelas belas meditações e especulações humanas, todas as controvérsias são coisas malsãs” (Bacon, 1979, I, X, p. 14).

O positivismo lógico refina de certa forma esse pensamento. A explicitação da distinção entre o contexto da descoberta e o contexto da justificativa por Hans Reichenbach (1938) contribui, consideravelmente, para se manter a noção de que um método dispensaria qualquer necessidade de “discussões calorosas” (Machamer; Pera & Baltas, 2000). A filosofia da ciência, nesse contexto, não se preocupava em analisar os processos da pesquisa científica; o essencial pautava-se nos seus resultados: as “descobertas” realizadas (como um produto), as teorias¹ elaboradas, os métodos (lógicos) utilizados e a justificação empírica. Os “erros” detectáveis na ciência, que poderiam gerar controvérsias, precisariam ou ser corrigidos ou relegados ao contexto da descoberta; eles não teriam efeito algum na sua justificação. Qualquer possível controvérsia deveria ser solucionada pela experimentação, evidência e exercício da razão. Em termos históricos, e em boa medida, preservava-se a ideia central de que a base para a análise da ciência era o empirismo clássico e a lógica formal.

Os experimentos ditos cruciais² poderiam resolver eventuais disputas (Kitcher, 2000). Karl Popper (1974, p. 225), por exemplo, frisou que “os cientistas evitam tratar de divergências verbais (...). Nas ciências naturais isto se consegue reconhecendo a experiência como árbitro imparcial de suas controvérsias”. A experimentação, nessa perspectiva, exercia um papel primordial na ciência, ao testar uma teoria, ao mesmo tempo em que era negligenciada, no sentido de ter sua função simplificada e limitada ao teste e não fazer parte efetiva de sua construção (Steinle, 2002).

Contudo, a visão de um método indubitável e infalível mostrou-se ultrapassada. O reconhecimento de que a ciência, em todo o seu desenrolar, é influenciada por fatores históricos, pessoais, culturais, sociais, políticos, éticos, econômicos, possibilita ver que ela não é um ideal puramente lógico e neutro; sendo, portanto, passível de controvérsias. Obras que impactaram a filosofia da ciência em meados do século passado, como as de Stephen Toulmin, Norwood Hanson, Paul Feyerabend, Imre Lakatos, Thomas Kuhn, entre outros, com abordagens centradas na mudança teórica, incomensurabilidade, progresso científico, programas de pesquisas, história da ciência, tornam explícita a relevância de controvérsias das mais variadas naturezas (Machamer; Pera & Baltas, 2000). Assim, a filosofia entendida até então como uma entidade puramente normativa – que objetivava estabelecer as regras que deveriam reger qualquer atividade científica – passa a analisar fenômenos envolvidos em uma controvérsia, ajuda na compreensão de suas várias dimensões, clarifica suas fontes, origens, formas e reflete sobre as distintas ferramentas utilizadas em seu desenrolar e resolução. Juntamente com a história da ciência e outras disciplinas como a sociologia, reconhece-se que é possível, e fundamental, examinar caso a caso como são as controvérsias na prática e o porquê de elas seguirem determinados caminhos. Os desacordos e a completa suspensão do consentimento não são mais considerados estranhos à ciência, mas sim essenciais a ela (McMullin, 2003).

Incorporados a essa aceitação surgiram questões que ainda continuam a ser debatidas: o que são controvérsias científicas? Por que elas existem? Há distintos tipos de controvérsias científicas? Se as experiências envolvem técnicas de observação, instrumentação e não podem, como almejava

¹ O termo teoria é utilizado, neste artigo, como sinônimo de hipótese, assim como ocorre com frequência nas obras aqui citadas.

² Raicik; Peduzzi & Angotti, 2017.

Popper, ser um árbitro imparcial, como as controvérsias são resolvidas? A ciência não é mais um ideal lógico regulada por um mediador isento; ela não pode mais aspirar uma visão de mundo divina.

De modo a proporcionar considerações acerca de alguns desses questionamentos, este artigo visa apresentar sucintamente algumas espécies de controvérsias. Para isso, além de comentar as classificações de Baltas (2000) e Goodwin (2013), sugere e caracteriza a existência de três tipos de controvérsias científicas: as analíticas, as resistivas e as argumentativas. Por fim, discute de que forma essas reflexões podem ser frutíferas para explorar aspectos relativos à Natureza da Ciência em sala de aula.

Controvérsias científicas: gêneses e definições

A questão do que vem a ser uma controvérsia científica é bastante peculiar. Na literatura não é incomum autores a utilizarem como sinônimo de disputas, desacordos, querelas, conflitos – expressões também utilizadas indistintamente neste artigo. Não obstante, como salienta Baltas (2000), em seu íntimo, uma controvérsia não é um mero descordo, mas “algo que não pode ser facilmente resolvido” (p. 44). As divergências na ciência podem tomar proporções distintas dependendo do assunto e do público envolvido; algumas delas têm como protagonistas dois estudiosos, enquanto outras podem abranger não necessariamente indivíduos específicos, mas grupos diferentes que discordam entre si. Por certo, nenhuma querela, por mais profunda que seja, pode adquirir o *status* de controvérsia a menos que haja o engajamento da comunidade científica em geral, embora apenas isso não seja suficiente. Segundo McMullin (2003), para ser considerado matéria controversa um desacordo deve: i) ser contínuo; ii) ter argumentos e contra-argumentos; iii) apresentar intercâmbios públicos, isto é, ser expresso por ambos os lados de forma escrita ou oral, para que outros possam vir a julgar os seus méritos.

Como ainda destaca McMullin (2003), uma controvérsia é um evento histórico; tem uma data e um lugar. Não é apenas uma relação abstrata de evidência e hipótese. Sem grande rigor, pode-se defini-la como uma disputa mantida pública e persistentemente sobre uma questão de crença considerada significativa por um número de estudiosos praticantes. Isto, partindo-se do pressuposto de que “uma controvérsia científica existe somente quando partes substanciais da comunidade científica vêem algum mérito em ambos os lados de um desacordo público” (p. 53). A provável complexidade do debate aumenta com o expressivo envolvimento público (Engelhardt & Caplan, 2003).

Em princípio, uma controvérsia é aberta a todos os que estão qualificados para entender a questão em jogo. Trata-se, portanto, de uma atividade comunitária, embora possa começar por envolver apenas duas pessoas. Os protagonistas apelam para os outros como se fossem juízes; o resultado da controvérsia dependerá não apenas das ações e argumentos dos protagonistas, mas da resposta a estes da comunidade científica em geral, ou pelo menos da parte da comunidade que se preocupa com o tema em disputa (McMullin, 2003, p. 51-52).

Em termos gerais, pode-se dizer que uma controvérsia é algo que surge quando uma nova reivindicação não se ajusta ao corpo de conhecimento aceito até aquele momento na ciência, ou porque ele ainda não existe, e a comunidade não pode simplesmente negligenciá-lo. Ainda, ela pode ser entendida como uma fase de quebra estrutural ou uma ruptura (Brante & Elzinga, 1990).

É possível identificar, também, momentos em que *não* há espaço para controvérsias na ciência, como enfatizam Machamer, Pera e Baltas (2000). Isto se dá, por exemplo, quando a nova reivindicação: i) se adequa ao corpo de conhecimento aceito naquele momento, conforme ocorre nos refinamentos de parâmetros, na detecção de alguns novos fenômenos; ii) não se encaixa no corpo teórico de conhecimento vigente, mas os estudiosos não querem ou não podem mudá-lo, como

aconteceu com o periélio anômalo de Mercúrio; iii) modifica a teoria aceita, mas a alteração é considerada útil, tal como o eletromagnetismo de Maxwell.

Para além de termos, sinônimos e definições, a *essência* de uma controvérsia e sua distinção para o desenvolvimento científico é o que torna mais relevante a sua análise. Discordâncias sobre conceitos, métodos, interpretações e aplicações são a força vital da ciência e um dos fatores mais produtivos da sua construção (Narasimhan, 2001). As controvérsias são tão variadas em suas causalidades quanto qualquer outra complexa ação humana (McMullin, 2003).

Nesse sentido, sua gênese pode estar relacionada aos fatos, hipóteses ou teorias, instrumentos, princípios metodológicos ou ontológicos, etc. A confiabilidade nos fatos fornecidos pela natureza foi algo engrandecido e apreciado por muito tempo na ciência. Como já defendia Bacon, “as palavras forçam o intelecto e o perturbam por completo. E os homens são assim, arrastados a inúmeras e inúteis controvérsias e fantasias (...) Apoiados na evidência dos fatos, rejeitamos toda sorte de fantasia ou impostura” (Bacon, 1979, I, XLIII-CXXII, p. 22, 81). Fontes de imparcialidade, eles poderiam, e deveriam, juntamente com um raciocínio rigoroso, resolver controvérsias científicas (Engelhardt & Caplan, 2003).

Contudo, os próprios fatos, tão estimados, não estão isentos de serem controversos. Pode-se questionar a sua existência, sua inclusão e sua relevância em um determinado contexto. Os fatos ou as experiências que dão origem às afirmações deles ou sobre eles envolvem interpretação e, inevitavelmente, aspectos cognitivos e sociais (Machamer; Pera & Baltas, 2000). Controvérsias que têm por gênese os fatos não são mais tão recorrentes, sobretudo devido as técnicas de controle experimental que se tornaram cada vez mais precisas, mas elas existem. As experiências, sejam elas exploratórias ou guiadas por uma teoria (Steinle, 1997; Raicik & Peduzzi, 2015), podem abranger técnicas de observação, instrumentação e, até mesmo, de planejamento e execução; assim a natureza de um experimento pode causar desacordos. Normalmente os experimentos são realizados em laboratórios, desenvolvidos por grupos de pesquisas e, portanto, envolvem interação. Consequentemente, isso pode gerar disputas pessoais, nacionalistas, epistemológicas. “Os motivos são múltiplos e distintos; fraudes, controles experimentais inadequados, resultados contraditórios, melhores técnicas experimentais...” (Machamer; Pera & Baltas, 2000, p. 8). Até mesmo a confiabilidade em um determinado instrumento pode ocasionar discórdia (Kitcher, 2000). Além disso, mas não menos importante, os experimentos envolvem apreciação crítica, consequentemente, um grau de subjetividade.

Entretanto, a fonte mais comum de controvérsia na ciência envolve a diferença teórica. Isto é, quando duas ou mais teorias buscam explicar um mesmo fenômeno/problema. As controvérsias desse gênero podem contemplar discussões em torno de seus formalismos matemáticos, da natureza e da adequação de seus termos, dos seus efeitos tecnológicos e sociais, de suas questões de utilidade, valor, interesse. Efetivamente essas controvérsias implicam em avaliação e escolhas teóricas.

A gênese de uma controvérsia científica, enfim, pode estar relacionada a diferentes fatores, como supracitado. Embora seja legítimo apontá-los, é importante frisar que não é possível ignorar a relação que existe entre estas fontes; algumas delas estão profundamente interligadas. Não há completa neutralidade na ciência. A distinção entre fatores epistêmicos e não-epistêmicos é dependente do contexto. A relevância dada a eles, bem como o que é tomado como epistêmico ou não pelos estudiosos envolvidos, muda com o tempo (Brante & Elzinga, 1990). Desta forma, o início de uma controvérsia pode abranger, também, uma avaliação prévia da importância das questões levantadas e o papel que desempenham em um dado campo de conhecimento. Nesse processo, que ocorre a nível comunitário, é provável que o talento e o *status* daqueles que propõem a modificação influencie (Kitcher, 2000). Ademais, a linha demarcatória entre aspectos intra e extracientíficos pode acabar sendo implausível de ser sustentada. As controvérsias são geradas em maior ou menor medida

por ambos os fatores, internos e externos. Naturalmente, cada controvérsia tem a sua peculiaridade e é possível analisá-las e estudá-las de diversas maneiras.

Distintas análises de controvérsias científicas: a complexidade do tema

Nas últimas décadas, muitos estudiosos têm se interessado pela apreciação de controvérsias na ciência. A concepção de que em “controvérsias é onde se exerce a atividade crítica, constitui-se dialogicamente o sentido das teorias, produzem-se as mudanças e inovações, e se manifesta a racionalidade ou irracionalidade do empreendimento científico” (Dascal, 1994, p. 78), está presente em diversas pesquisas que mostram distintas formas de se olhar para uma matéria controversa. Diversas obras, algumas delas mais expressivas citadas a seguir, demonstram a complexidade do tema e sua infindável capacidade de trazer à tona distintos elementos do desenvolvimento da ciência.

Em “Controversies and Subjectivity”, publicado em 2005 e organizado por Pierluigi Barrotta e Marcelo Dascal, encontram-se análises de controvérsias pautadas na natureza do sujeito e sua subjetividade. Para isso, os temas envolvem múltiplas perspectivas: filosóficas, epistemológicas, psicológicas, linguísticas e históricas. A negligência das controvérsias pela filosofia da ciência, como fazia o positivismo, por exemplo, levava ao desaparecimento de uma pluralidade real e plena dos seus sujeitos que estão imersos em um ambiente social. Neste sentido, os artigos que compõem o livro suscitam questões como: Em que sentido e em que medida os ambientes sociais e suas tradições são constitutivos do sujeito? Como os aspectos sociais e psicológicos dos sujeitos envolvidos em uma polêmica interagem com fatores epistêmicos? O *ethos* da comunidade e o *pathos* dos participantes não são tão importantes quanto as normas epistemológicas para explicar a escolha de estratégias argumentativas em uma controvérsia?

Apresentando uma preocupação especialmente com aqueles debates científicos que tem sobreposições com a ética e a política, o livro “Scientific controversies: case studies in the resolution and closure of disputes in Science and technology” (1987), que tem por organizadores H. Tristram Engelhardt e Arthur Caplan, evidencia de que forma controvérsias com essas características são resolvidas. Portanto, avança nas análises de mudança científica em termos de seus fatores internos e externos. O segundo capítulo da obra, “Scientific controversy and its termination” (McMullin, 2003), supracitado na seção anterior, além de abordar discussões acerca do conceito de uma controvérsia científica e da influência de aspectos epistêmicos e não epistêmicos em seu desenrolar, exhibe uma taxonomia à luz da distinção de controvérsias de fatos, de teorias, de princípios e mistas (controvérsias que envolvem a ciência e uma questão de princípio moral ou político). Narasimhan (2001), por exemplo, discute com propriedade as colocações de McMullin.

A obra “Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives”, organizada por Peter Machamer, Marcello Pera e Aristides Baltas (2000), é dividida em duas partes. A primeira delas envolve tentativas de estruturar conceitualmente controvérsias científicas; a segunda se pauta, principalmente, na análise de alguns episódios históricos de distintas áreas científicas (biologia, química, física, medicina).

No primeiro capítulo deste livro, Kitcher (2000) argumenta que há dois modelos de análise/explicação de controvérsias científicas: o modelo racionalista (empiristas lógicos) e o modelo anti-racionalista. Ele admite que embora as controvérsias possuam distintas origens e peculiares formas de desenvolvimento, a suas resoluções seguem, de certa forma, um padrão. Nesta linha, o autor busca responder como a prática consensual da comunidade se relaciona com as práticas individuais dos seus membros. Nesse sentido, caracteriza as controvérsias como tendo lugar em um campo de discordância em que práticas individuais alternativas competem como candidatas para a modificação da prática de consenso. Admite que as controvérsias sofrem duas influências centrais em sua origem: a avaliação prévia da importância das questões levantadas e a avaliação, a nível

comunitário, do talento daqueles que propõem alguma modificação na prática de consenso. Da mesma forma, pressupõe que no meio de uma controvérsia os estudiosos se deparam com duas situações difíceis: a condição da inconsistência e a condição da explicação. As inconsistências são geradas pelo fato de que algumas reivindicações feitas são incompatíveis com outras. Já o compromisso com um esquema explicativo geral pode levar a uma reivindicação sobre o que será observado em condições específicas. Afim de clarificar essas preocupações teóricas, Kitcher explora a controvérsia entre Cavendish e Lavoisier sobre a calcinação dos metais e as originadas a partir das observações de Galileu com o telescópio.

Pera (2000), autor do terceiro capítulo, analisa controvérsias no âmbito de seus elementos retóricos e dialéticos. Ele examina de que forma uma controvérsia é resolvida e como se pode dizer que um vencedor progrediu em relação ao seu rival. O autor alega, nesse sentido, que em uma controvérsia não há árbitro, mas uma vitória dialética. Isto é, um triunfo pautado em meios argumentativos. A partir disso, Pera distingue dois fatores da dialética: i) os internos, que denotam todos os aspectos que em um dado momento são admitidos pela comunidade como pertinentes para o *diálogo* relativo a uma reivindicação cognitiva; ii) os epistêmicos, que envolvem todos os elementos que são considerados pela comunidade como relevantes para o *valor* cognitivo de uma determinada reivindicação. Em síntese, pode-se dizer que os fatores de dialética internos são intrínsecos ao diálogo ou à disputa, enquanto os epistêmicos são relevantes para o mérito da afirmação. Enfim, o autor conclui que a resolução de uma controvérsia sempre depende de um fator interno.

No quinto capítulo, Machamer (2000) discute o conceito de indivíduo e a ideia do método na filosofia natural do século XVII. A sua análise controversa se pauta na distinção entre dois egos individualistas: o epistêmico e o empreendedor.

Hacking (2000), no décimo segundo capítulo do mesmo livro, por sua vez, apresenta o que chama de ninho de controvérsias científicas à luz de exemplos do sensorial e da psicologia popular, distinguindo-as em quatro tipos. Divergindo de Kitcher (2000) de que a resolução de controvérsias segue um padrão, Hacking argumenta, com análises da psiquiatria, que se pode pensar em uma concepção cíclica para o início, desenvolvimento e finalização de uma controvérsia. Isto é, como um espiral, elas crescem progressivamente.

Efetivamente, há distintos modos de considerar e analisar controvérsias científicas. Na perspectiva do presente artigo, cabe destacar Baltas (2000), que desenvolve uma classificação própria à luz da sua noção de “suposições de fundo” e Goodwin (2013), que sustenta uma classificação kuhiana de controvérsias científicas não-revolucionárias.

Baltas e as suposições de fundo: uma análise singular sobre controvérsias científicas

Baltas (2000) admite que as controvérsias científicas ocorrem quando os estudiosos não compartilham “suposições de fundo” (*background assumptions*). Suposições, em geral, incluem um amplo espectro de elementos, como preferências teóricas, valores, princípios metodológicos e ontológicos, pressuposições, etc. que integram a atividade científica. Mas elas não são explicitamente declaradas e, assim, podem estar ocultas no processo de uma controvérsia (Ferreira, 2005). Discriminando-as em quatro níveis, o autor parte do pressuposto de que “os cientistas trabalham com um sistema conceitual constituído que não pode deixar de ser interpretado; eles pertencem a uma tradição e seguem um estilo de raciocínio; eles escolhem um programa de pesquisa – ou são forçados a participar de um” (Baltas, 2000, p. 43).

Um dos níveis é o que se refere a suposições *constitutivas*. Elas são fundamentais na geração de um sistema conceitual científico, tendo, entre outras funções, o papel de assegurar a sua coerência

e identidade. Os pressupostos envolvidos nos conceitos de espaço e tempo são constitutivos da mecânica newtoniana, por exemplo.

As suposições de fundo *interpretativas* determinam a forma como um sistema conceitual é naturalmente interpretado quando estabelecido pela primeira vez. Mostram “que a capacidade de reconhecer cognitivamente fenômenos que até então eram totalmente inexplicáveis em seus termos, é inerente ao próprio sistema” (Baltas, 2000, 43). Como exemplo o autor cita Freudenthal (1986), que analisa as discussões de Newton e Leibniz acerca do conceito de espaço absoluto, investigando se elas divergem, sobretudo, pelo preconceito inicial de Leibniz às visões metafísicas newtonianas.

As premissas que determinam as tradições científicas particulares que os estudiosos tendem a seguir são classificadas como suposições de *participação*. Inseridos em padrões empiristas, alguns estudiosos podem ser induzidos a não reconhecerem ou valorizarem resultados teóricos em seu trabalho. O caso antagônico, em que investigadores estão imersos em uma tradição “racionalista” e, por isso, ignoram resultados experimentais que poderiam ser relevantes à pesquisa, é igualmente válido a título de exemplo.

O último nível diz respeito às suposições de *preferência*. Eles envolvem os critérios de escolha empregados pelos estudiosos ao programa de pesquisa em que vão trabalhar, dentre as alternativas disponíveis. Por exemplo, a proposta de Geoffrey Chew sobre a “democracia” das partículas, atraiu muitos físicos de alta energia no final da década de 1960, sobretudo aqueles que procuravam dar sentido à proliferação de partículas elementares com base nos esquemas tradicionais de “blocos de construção”.

Essas suposições de fundo são essenciais, de acordo com Baltas, para uma classificação de controvérsias científicas, pois elas são elementos constituintes de sua dinâmica. O que se espera, na ocorrência de uma controvérsia, é que um dos lados envolvidos apresente algo novo que resolva, ou busque resolver, a disputa. Neste caso, traz-se à tona uma suposição de fundo silenciada até então. “Uma vez que os pressupostos interpretativos não compartilhados são revelados, no decurso de uma controvérsia, um novo resultado científico deve ser estabelecido, resultando em um acordo epistêmico” (Ferreira, 2005, p. 121). Não obstante, uma das partes que integra a querela pode não reconhecer o novo achado ou a sua relevância; não havendo assim concordância, a controvérsia continua. Desta forma, o nível e o papel que uma suposição de fundo desempenha só podem ser determinados em retrospectiva, depois de a suposição ser revelada e de se entender o seu real impacto.

Estabelecidos os distintos níveis das suposições de fundo, Baltas alega que as controvérsias podem, de acordo com eles, ser classificadas em três tipos. Nas *controvérsias superficiais*, há compartilhamento, por parte dos estudiosos envolvidos, de suposições constitutivas e interpretativas. Nesses casos, inexistente “incomensurabilidade³ de qualquer tipo, e o desentendimento não destrói a comunicação. Cada parte compreende quase perfeitamente o que a outra está fazendo e o porquê de estar fazendo” (Baltas, 2000, p. 46). A discordância não envolve, necessariamente, os componentes de um conceito, mas o tipo de raciocínio, os interesses pessoais, as preferências sociais, que o delimita (Lima, 2014). Como exemplo, pode-se citar a controvérsia entre os proponentes de um modelo cosmológico estável e os defensores da ideia de um universo em expansão.

De forma divergente, há as *controvérsias decisivas* em que se compartilham as suposições constitutivas, mas nem todas as interpretativas. Aqui a incomensurabilidade e a comunicação se tornam fatores problemáticos na medida em que o sistema conceitual não está suficientemente desenvolvido. Um exemplo é a querela entre Einstein e Bohr sobre a interpretação do formalismo da mecânica quântica.

³ O autor utiliza o termo fazendo menção à concepção kuhniana de incomensurabilidade.

Por último, tem-se as *controvérsias profundas*. Neste caso, nenhuma suposição de fundo é compartilhada; o desacordo é pleno (Lima, 2014.). Elas comportam duas subcategorias. Uma delas envolve pressupostos que asseguram a coerência e determinam a identidade de um sistema conceitual que já está bem constituído dentro de uma ciência existente. Há incomensurabilidade, problemas na comunicação. Os proponentes da nova física quântica e os da mecânica clássica são exemplos desse tipo. A segunda subcategoria dessa controvérsia compreende aquelas que ocorrem quando a própria perspectiva que define uma ciência está em processo de ser esculpida. As suposições envolvidas são aquelas que determinam a identidade e asseguram a coerência das antigas teorias que o novo sistema conceitual desafia. Baltas cita a disputa de Galileu com os aristotélicos, o debate Galvani-Volta e o embate entre Lavoisier e Priestley.

Obviamente controvérsias profundas são as mais significativas do ponto de vista cognitivo. Tratam-se de processos revolucionários, cuja tarefa é o estabelecimento de um sistema conceitual radicalmente novo (...). Inaugura uma nova ciência e, portanto, abre uma perspectiva totalmente nova sobre o mundo, ou desafia uma teoria altamente confirmada dentro dos limites de uma ciência já existente (Baltas, 2000, p. 48).

Para Goodwin (2013) essa classificação de controvérsias científicas, grosseiramente, apresenta sobreposições com uma possível classificação kuhniana de controvérsias. Contudo, enquanto Baltas pensa em seu conteúdo em termos de suposições de fundo, Kuhn se refere a exemplares e analogias. Ademais, este último dá maior ênfase para a dimensão social do desenvolvimento científico.

Controvérsias científicas não-revolucionárias, segundo Goodwin

Goodwin (2013) sustenta que a concepção de ciência evidenciada por Kuhn em “A estrutura das revoluções científicas” (Kuhn, 2011), publicada em 1962, apoia uma análise de, pelo menos, dois tipos de controvérsias não-revolucionárias. Isto é, controvérsias em que estudiosos que pertencem a uma mesma tradição científica apresentam um desacordo persistente sobre uma determinada questão que resiste à resolução pelos meios padrões aceitos no paradigma.

Após ter utilizado o termo paradigma de vinte e uma⁴ formas distintas ao longo de sua obra (Masterman, 1979), e de ter recebido severas críticas por isso, no pós-fácio, de 1969 Kuhn esclarece o seu significado. Para o filósofo, a expressão paradigma tem dois usos distintos; um mais global e outro mais restrito. O primeiro emprego do termo, refere-se a todo um conjunto de compromissos de pesquisa de uma comunidade científica, que engloba generalizações simbólicas, modelos, valores e exemplares⁵. Paradigmas enquanto exemplos compartilhados, uma segunda forma de aplicação do termo, dizem respeito ao “conhecimento da natureza que se adquire ao compreender a relação de semelhança, conhecimento que se encarna numa maneira de ver as situações físicas e não em leis ou regras gerais” (Kuhn, 2011, p. 238).

Na ciência, muitos estudiosos ao compartilharem um mesmo paradigma e se depararem com um fenômeno novo tendem, normalmente, a acomodá-lo dentro do paradigma aceito, apresentando e

⁴ Kuhn acusa, posteriormente, vinte e dois sentidos.

⁵ As generalizações simbólicas remetem às expressões empregadas sem discussão ou dissensão pela comunidade científica. Isto é, pontos de apoio essenciais para os problemas que a comunidade se propõe a investigar. Os modelos fornecem à comunidade as analogias e metáforas aceitáveis. Os valores mostram-se particularmente úteis na avaliação das crises e julgamentos de formas incompatíveis de ver o mundo, de praticar uma ciência. Eles contribuem para proporcionar aos especialistas em ciências naturais um sentimento de pertencerem a uma comunidade global. Kuhn cita alguns deles: precisão, consistência interna e externa, amplitude de aplicação, simplicidade e fertilidade. Os exemplares são as soluções concretas de problemas que os estudantes/cientistas encontram desde o início de sua educação científica, seja nos laboratórios, exames ou fim dos capítulos dos manuais científicos. As soluções desses exemplares indicam como o cientista deve realizar seu trabalho.

defendendo articulações junto ao mesmo. Não obstante, as distintas tentativas de relacionar um fenômeno recentemente reconhecido a um exemplar já existente podem envolver discordâncias. Aqui reside o primeiro tipo de controvérsia salientada por Goodwin. Elas podem abranger tanto discórdias acerca da existência ou não de semelhanças entre algum exemplar do paradigma e o novo caso em análise, quanto debates em torno de qual exemplar, caso ele exista, deve ser utilizado como modelo para a compreensão do novo fenômeno. Ademais, mesmo que haja concordância quanto ao mais apropriado modelo, sua aplicação pode ser ambígua.

As controvérsias não revolucionárias podem implicar, ainda, como um segundo tipo, em desentendimentos que ocorrem quando estudiosos que compartilham o mesmo paradigma começam a identificar falhas ou anomalias na sua capacidade de resolução de problemas. A princípio, busca-se solucionar a questão à luz de resultados já estabelecidos pelo paradigma. Não encontrando soluções por essa via, os estudiosos tendem a afastar-se cada vez mais de seus modelos orientadores. Em função disso, os conflitos podem ser classificados de acordo com os elementos da matriz disciplinar que estão em disputa. Alguns estudiosos, por exemplo, podem abandonar ou reinterpretar uma generalização simbólica, enquanto outros se preocupam com os valores. Por fim, cada grupo envolvido, empenhando-se para preservar a essência do paradigma, ou o que avaliam ser a base do mesmo, pode negar ou modificar os seus exemplares considerados menos primordiais.

Embora Kuhn não se debruce em discussões sobre controvérsias, ele caracteriza distintos desacordos que ocorrem na ciência. “O que está em jogo nesses debates é o curso futuro de um campo científico” (Goodwin, 2013, p. 104). Por certo, como afirma Goodwin (2013), Baltas tem razão em seu argumento de que a atenção demasiadamente dada pelos filósofos às revoluções na obra de Kuhn obscureceu a análise de controvérsias não-revolucionárias. Cabe ressaltar, contudo, que Kuhn, de forma sucinta e bastante abstrata, apenas caracteriza e fornece exemplos de alguns desses desentendimentos, como quando discute a teoria do calórico ou a modificação da teoria do flogisto para se ajustar às novas observações experimentais.

Controvérsias *analíticas, resistivas e argumentativas*: uma classificação

Considerando-se que há distintas maneiras de analisar e classificar controvérsias científicas, discute-se a seguir certos desacordos que ocorrem na ciência tanto em períodos onde existe uma efervescência teórica quanto naqueles em que há um corpo teórico hegemônico. Empregando-se concepções kuhnianas e baseando-se nas controvérsias apresentadas por Baltas e no ensaio de Goodwin, caracteriza-se três tipos de controvérsias científicas: *analíticas, resistivas e argumentativas*. Essas categorias, longe de esgotar ou tentar restringir o escopo de um tema complexo, visam ressaltar peculiaridades de certas controvérsias, vinculando-as a exemplos históricos, na perspectiva de sua introdução e discussão na educação científica.

O estudo de controvérsias científicas não dissociadas da história da ciência, no ensino, pode propiciar, além da compreensão de conceitos científicos, a problematização de asserções relativas a Natureza da Ciência (Peduzzi & Raicik, 2017), como as que envolvem a neutralidade, a linearidade, a seletividade das observações, o papel dos experimentos, a dinâmica entre hipótese e experimentação, o significado de experimentos cruciais, o reconhecimento das influências filosóficas, religiosas, culturais, éticas do investigador em uma pesquisa científica, a inexistência de um método único e infalível, etc. Auxiliam, inclusive, na prática de respeitar e analisar argumentos divergentes e evitam a doutrinação de uma singular hipótese, ideia, forma de pensar (Bulla, 2016).

Conjuntamente a isto, como ressalta Reis (2009), no ensino pouco se recorre às controvérsias para promover o desenvolvimento de conhecimentos, capacidades e atitudes considerados importantes para a cidadania. Assim, a ciência acaba sendo apresentada, nesse meio, como incontroversa e isenta de valores.

Controvérsias analíticas

Nas *controvérsias analíticas*, há escolas em competição. Isto é, não havendo consenso em termos teóricos, empíricos, metodológicos, instrumentais... para o entendimento de um certo fenômeno, diferentes teorias são formuladas e concorrem entre si neste período que se pode denominar de pré-paradigmático. Com o passar do tempo, um dos referenciais teóricos emergentes acaba proporcionando uma reconhecida⁶ e original solução. O consenso demanda tempo, mas a sua aceitação traz à cena um paradigma e, com ele, a promessa de tempos mais serenos na investigação científica. Reside aqui uma das maiores contribuições/impactos de controvérsias desse tipo para a ciência: o aflorar de um paradigma. A controvérsia da eletricidade animal, entre Galvani e Volta, e o debate em torno da teoria das cores de Newton são exemplos de controvérsias analíticas.

Os estudos de Newton na óptica, sobretudo o seu primeiro artigo “Nova teoria sobre luz e cores”, publicado na *Philosophical Transactions* da Royal Society em 1672, provocaram muitos desacordos entre seus contemporâneos. Nesse trabalho ele relata os resultados de vários anos de investigação explicando o fenômeno da formação das cores devido à refração de forma distinta das teorias até então apresentadas. No âmbito de um período pré-paradigmático, Newton apresenta uma explicação que difere das concepções que tinham por base a modificação da luz (branca, considerada até então homogênea,) ao passar por um meio transparente, como prismas e esferas cristalinas ocas com água, provocando assim reações impetuosas. Em períodos como esse, “diferentes indivíduos ou grupos de indivíduos confrontados com a mesma classe de fenômenos dão a eles explicações distintas, orientados por pressupostos teóricos incompatíveis entre si” (Peduzzi, 2006, p. 65). O desacordo, então, é eminente.

O ponto primordial dos estudos de Newton é a observação, e questionamento, da forma oblonga do espectro da luz (branca) ao ser refratada por um prisma. A lei da refração de Descartes previa uma mancha circular e não alongada. Newton desenvolve, então, uma série de experimentos para compreender este fenômeno, sempre dialogados com suas hipóteses. A um desses experimentos, no qual conclui que a forma oblonga do espectro podia ser explicada como uma superposição de manchas circulares, deslocadas uma em relação a outra de acordo com o índice de refração da cor, ele chama de *crucial*. Apesar do apelo retórico utilizado por Newton, esse experimento não foi assim entendido pelos seus opositores, especialmente por Robert Hooke, o que evidencia a incongruência em se admitir que experimentos ditos cruciais possam resolver disputas de forma imediata e incontestável (Hodson, 1988; Silva; Martins, 1996; Martins; Silva, 2015; Raicik; Peduzzi & Angotti, 2017)

Apesar de muitos estudiosos terem considerado o “trabalho de Newton dramático e convincente” e assumirem que ele era uma “maravilha de engenhosidade e o melhor instrutor de novos esclarecimentos” (Shaffer, 2002, p. 257), a reação ao seu primeiro artigo foi contundente. Muitos críticos contestaram a autoridade atribuída por Newton ao experimento crucial que, a princípio, dispensaria a realização de um número expressivo de experimentos, como era de costume. Ao tentarem reproduzir o experimento newtoniano alguns estudiosos não obtiveram sucesso ou encontraram resultados distintos daqueles descritos por Newton, como aconteceu com o jesuíta Anthony Lucas. Neste caso, a controvérsia demonstra ter como problema central a replicação e instrumentação empregada pelo jesuíta. A qualidade e a forma dos prismas utilizados eram de extrema relevância para o sucesso do experimento. Além disso, Newton alegou que o experimento de Lucas era apenas um variante do experimento crucial, e não o próprio experimento por ele descrito, descreditando incisivamente da versão lucasiana (Shaffer, 2002).

⁶ A maneira como a comunidade, ou os seus sujeitos, fazem as escolhas teóricas é peculiar e complexa, não sendo objeto de estudo neste artigo.

Com efeito, um experimento, ou um conjunto deles, pode ser explicado à luz de diferentes construções teóricas. Resultados experimentais podem adquirir significados distintos, dependendo do ponto de vista conceitual sob os quais são analisados. Inclusive, para poder justificar suas afirmações, Newton desenvolve uma complexa argumentação utilizando, além de experimentos, constructos teóricos e epistemológicos. Ou seja, a ideia de um experimento definidor e incontestável para a aceitação de uma teoria, mostra-se, nesse caso, uma ilusão.

Não apresentando objeções às observações feitas por Newton – conseguindo a reprodutibilidade do experimento –, mas condenando veementemente a concepção corpuscular da luz que admite estar implícita na sua teoria, Hooke inicia um longo desacordo com a noção newtoniana. No que lhe diz respeito, Newton objeta vigorosamente esta alegação afirmando que a sua teoria das cores

(...) provava a heterogeneidade da luz, à qual constituía sua afirmação central com base nos experimentos, e ele via a heterogeneidade como um fato comprovado. Qualquer teoria da luz teria de se adaptar à heterogeneidade, que era tão compatível com a teoria ondulatória quanto com a teoria corpuscular. Nessa disputa, a lógica certamente ficou ao lado de Newton, e a história posterior da óptica confirmou suas ideias (Cohen & Westfall, 2002, p. 213).

Sucintamente, pode-se dizer que a controvérsia Newton-Hooke tem caráter essencialmente epistemológico. Aqui, o confronto se detém nas distintas formas de conceber o conhecimento científico. Hooke rebaixa a teoria newtoniana a uma simples hipótese. Para ele, todas as constatações experimentais poderiam ser explicadas à luz de sua teoria: a saber, que a luz era um pulso ou uma onda, gerada por movimentos vibratórios muito rápidos, de pequenas amplitudes, da parte dos corpos luminosos. Assim, a “hipótese” newtoniana era dispensável. Newton, contudo, busca estabelecer, a partir da experiência, proposições acerca da luz e das cores. Proposições estas que, segundo ele, não eram hipóteses, mas fatos. Não obstante, “aos olhos de Hooke, e de muitos de seus contemporâneos, as pretensões de certeza de Newton eram um sintoma de um dogmatismo inaceitável segundo os cânones de uma nova ciência” (Granés, 2005, p. 144).

Somente após a morte de Hooke, em concomitância com o seu cargo de presidente da Royal Society em 1703 e da publicação da Óptica em 1704, é que Newton afirma contundentemente que qualquer experimento de óptica, se executado com os prismas certos, asseguraria a veracidade de sua doutrina.

“Essa foi uma conquista de Newton e seus aliados. E exigiu uma reconstrução do registro das controvérsias da óptica. Essa reconstrução implicou a exposição pública de novas técnicas prismáticas e uma reinterpretação das falhas anteriores na reprodução das afirmações de Newton. À medida que ele passou a controlar os recursos da filosofia experimental, a óptica newtoniana adquiriu uma história disciplinar e uma tecnologia padronizada (...) Uma vez obtido o consenso local na Sociedade e junto a seu público na França, Itália e Holanda, com respeito à doutrina da imutabilidade da cor, foi possível definir bons prismas como sendo aqueles que exibiam esse resultado. A natureza localizada e tênue desse consenso foi demonstrada em discussões posteriores com experimentadores europeus (Schaffer, 2002, p. 263-264, 268).

Por fim, a nova teoria de Newton, origina-se da “descoberta” de que nenhuma das teorias pré-paradigmáticas existentes explicava a forma oblonga do espectro (Kuhn, 2011). Nesse percurso, no entanto, vários foram os elementos que entraram em debate; os instrumentos, a metodologia de pesquisa e de divulgação empregados, a concepção filosófica experimental, o fato em si, isto é, o resultado dos experimentos, a própria teoria. Com efeito, a experiência não atuou como um árbitro imparcial da controvérsia.

Controvérsias resistivas: plurais e céticas

Controvérsias resistivas são aquelas relacionadas a um fenômeno novo que contraria expectativas do paradigma aceito pela comunidade científica. Imersa em pressupostos bem estabelecidos, parte da comunidade questiona o fenômeno. Este tipo de controvérsia comporta duas naturezas: plurais e céticas. Nas *controvérsias resistivas plurais* o embate ocorre entre uma (ou mais) teoria nova e o paradigma aceito, que procura criar condições em seu próprio meio para explicar o fenômeno (mediante hipóteses *ad-hoc*, por exemplo). As *controvérsias resistivas céticas* ocorrem quando o paradigma aceito não consegue explicar o fenômeno novo, mas não há necessariamente uma nova teoria que o explique. Ou, quando o paradigma consegue explicar o fenômeno teoricamente, mas não o reconhece, ainda, empiricamente (como no caso da fusão a frio). O confronto se dá em torno do paradigma e da credibilidade (fidedignidade) do componente empírico, em termos da coerência de seus dados, sua estrutura, sua precisão.

As observações de Galileu com o telescópio desencadearam distintas controvérsias, consideradas resistivas plurais. A sua discussão com Christopher Scheiner sobre as manchas solares, é parte de um debate mais amplo em torno da imutabilidade ou não do céu aristotélico.

A filosofia aristotélica, que reinou por séculos, sustentava a não mutabilidade e a perfeição do mundo supralunar. Conquanto, novas evidências trazidas por observações celestes começaram, ainda que de forma comedida, a revelar mudanças no (suposto) céu incorruptível. A nova registrada por Tycho Brahe em 1572, sem paralaxe mensurável, atesta isso. Bem antes, Nicolau de Cusa já havia defendido, embora por vias puramente especulativas, que a Terra não era o único astro passível de corrupção e mudança.

É nesse contexto, confrontando de forma impactante o paradigma aristotélico, que Galileu alegou que a quimera de um céu imutável parecia existir apenas na crença infundada daqueles que se recusavam a olhar para as então evidências trazidas pelo telescópio. A nova epopeia celeste incluía estrelas que nunca havia se visto, irregularidades na superfície lunar, satélites em Júpiter, “protuberâncias” em Saturno, fases em Vênus, manchas no Sol.

As novas observações traziam consigo a relutância de muitos estudiosos que não aceitavam passivamente evidências que destoavam de suas arraigadas concepções. Ademais, elas eram provenientes de um instrumento que não possuía uma explicação teórica. A Lua impecável (lisa, uniforme, globular), por exemplo, passou a ter irregularidades vistas por suas cavidades e saliências. Com espanto e incredulidade, aristotélicos como Ludovico delle Colombe buscaram manter intacta a concepção milenar, admitindo que a Lua estaria revestida por um cristal transparente onde se encontrariam as deformidades, como montanhas e vales, que Galileu alegou estarem na superfície do astro (Peduzzi, 2016).

Entretanto, as evidências do telescópio eram tão fascinantes e perturbadoras que alguns ferrenhos defensores do geocentrismo foram obrigados a se curvarem a elas, depois de olharem através das lentes desse revolucionário instrumento, suplantando convicções filosóficas que poderiam fazê-los rejeitar, por definição, aqueles descobrimentos (Peduzzi, 2016, p. 137).

Analisando atenta e periodicamente as manchas solares, que ao telescópio se mostravam em movimento, Galileu concluiu que o Sol gira sobre si mesmo e calculou a velocidade de sua rotação. Isto é, ele sustentou que as manchas eram de fato um fenômeno solar. Para Galileu, esses registros, e os demais, eram não apenas aceitáveis, como coerentes com uma nova maneira de se compreender o universo. Contudo, aqueles que se propuseram a olhar pelo telescópio apresentavam, devido as suas concepções teóricas, filosóficas e teológicas, divergentes interpretações em relação a isso, como o jesuíta Christopher Scheiner.

Scheiner argumentou que as manchas eram devidas a determinados objetos/corpos que se interpunham entre o observador e o Sol. A disparidade nas explicações pautava-se, sobretudo, na concepção filosófica de Scheiner; adepto da filosofia aristotélica que não podia admitir perturbações no Sol. Parecia mais coerente, para o jesuíta, “salvar” a concepção aristotélica aceitando que corpos se colocavam à frente do Sol, do que admitir que aquela região perfeita era passível de corruptibilidade. Com efeito, a visão de que fatos são fontes de imparcialidade não pode ser sustentada. Os dados, *per si*, como as manchas que foram observadas, não geram teorias, pois toda observação é feita à luz de determinados pressupostos. A controvérsia envolve, além da confiabilidade instrumental, esquemas conceituais e filosóficos que atuam fortemente nas observações e interpretações elaboradas. Às vezes, e como pode ocorrer em controvérsias resistivas, certos pressupostos 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 (Peduzzi & Raicik, 2017).

O caso de Lavoisier e a teoria do flogisto na química também exemplifica uma controvérsia resistiva plural. Aqui, pode-se analisá-la não necessariamente recorrendo-se a dois personagens, mas aos estudos de um investigador (Lavoisier) e as concepções de um grupo contrário a ele (defensores do flogisto). No século XVIII, havia uma preocupação relevante em se esclarecer o aumento de peso dos metais depois de sua calcinação. 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). “Embora ainda fosse considerado e aceito como um instrumento de trabalho útil, o paradigma da química do século XVIII estava perdendo gradualmente seu *status* ímpar” (Kuhn, 2011, p. 100). O trabalho de Lavoisier, circundado em uma intensa controvérsia – que envolve, inclusive, a “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 é complexa. Apesar de a teoria do flogisto ser considerada, inclusive por Kuhn, como um paradigma, o contexto da descoberta do oxigênio (Martins, 2009) envolve um período que se poderia classificar como pré-paradigmático, e assim, ao menos, parte da controvérsia poderia ser classificada como analítica. Nesse sentido, uma análise histórica com enfoque específico no embate entre Lavoisier e Priestley poderá evidenciar isso.

Um episódio histórico mais recente pode exemplificar as controvérsias resistivas céticas: a controversa fusão a frio. Em 1989 Martin Fleischmann e Stanley Pons afirmaram ter “descoberto” a fusão a frio com um aparelho extremamente simples: uma “célula” de eletrólise com água pesada – deutério – e com eletrodo de paládio. Depois de décadas e investimentos tentando controlar a fusão a quente, um experimento simples, barato e que produzia fusão nuclear a temperatura ambiente parecia, de fato, inacreditável na ciência. Sem dúvida isso escandalizou a sociedade científica que logo se propôs a replicar o experimento. “A ciência não havia visto nada igual; nem tampouco a imprensa mundial que, continuamente, divulgava novos achados e versões atualizadas do andamento das coisas” (Collins & Pinch, 2010, p. 73).

Os resultados encontrados por outros estudiosos com a reprodutibilidade do experimento foram os mais diversos. Alguns dos que apontaram resultados inicialmente positivos, logo constataram erros em seus dispositivos. Além disso, ainda que se encontrassem efeitos favoráveis à fusão, a sua incidência era efêmera em relação àquela alegada por Pons e Fleischmann. Assim, restava a eles mais críticas negativas do que, necessariamente, algum crédito. Eles foram repreendidos por não divulgarem, a princípio, detalhes do experimento; o tamanho dos eletrodos utilizados, a densidade da corrente aplicada, o tempo de espera para o resultado eram incógnitas para muitos. A desconfiança da comunidade ensejou que fossem acusados de incompetentes, de terem realizado medidas erroneamente. Para que a fusão ocorresse deveriam ser constatados excedentes de calor e subprodutos nucleares (nêutrons, por exemplo) da reação. Contudo, as primeiras medições de Pons e Fleischmann

eram grosseiras, com resultados relativamente inacreditáveis (absurdos). Foram seus resultados que geraram propriamente a controvérsia sobre a fusão a frio.

Ao tentar ‘jogar limpo’ sobre as dificuldades de interpretar seus dados nucleares, Pons e Fleischmann estavam tentando chamar a atenção de volta para o ponto central da argumentação de ambos – as medições de excedente de calor (...). O problema foi que, para muitos físicos, os dados nucleares é que haviam despertado o interesse em primeiro lugar e, em vista da frágil evidência sobre os nêutrons, os resultados calorimétricos sobravam como meras anomalias, possivelmente de ordem química (Collins & Pinch, 2010, p. 97-98).

Desta forma, o ceticismo e a desconfiança começaram a reinar na comunidade científica. Teoricamente, a fusão a frio era possível. Mas o experimento de Pons e Fleischmann estava longe de ser reconhecido e tomado como uma evidência clara de fusão. As tentativas falhas de replicabilidade, as técnicas utilizadas com o experimento, a credibilidade dos autores, por serem eletroquímicos, e não físicos nucleares, a falta de base teórica para a utilização do paládio, a falta de *expertise* na medição de nêutrons, foram algumas das questões que levaram a comunidade a acreditar, cada vez mais, na impossibilidade de a fusão a frio ter ocorrido empiricamente, nos termos apresentados.

Controvérsias argumentativas

Nas *controvérsias argumentativas* a querela se dá em termos essencialmente teóricos, o componente empírico não está no centro da disputa. Normalmente, essas controvérsias são interparadigmáticas, mas também compreendem disputas pela reivindicação de alguma descoberta. Elas podem envolver, em maior ou menor grau, tanto aspectos externos à ciência quanto serem, eminentemente, internalistas. As primeiras levam o debate a níveis políticos, econômicos, religiosos. Aquelas mais internas se limitam a análise do conhecimento científico envolvido; podem não afetar, necessária e prontamente, aspectos extracientíficos.

A controvérsia Newton-Leibniz, sobre a prioridade da invenção do cálculo diferencial e integral, pode ser considerada um dos primeiros grandes debates da ciência moderna. Eles travaram uma disputa feroz pela primazia da descoberta (Cohen & Westfall, 2002). A controvérsia tem como pontos centrais a incógnita de quem foi o primeiro a descobrir o cálculo, se ele foi descoberto por ambos de forma independente ou, ainda, se houve plágio de algum dos estudiosos. Ao longo dos anos polêmicos inúmeros estudiosos se envolvem no debate, de forma direta ou indireta, entre eles John Wallis, Fatio de Dullier, John Craig, David Gregory, Thomas Burnet, Christian Wolff, Pierre Varignon (Westfall, 1995; Echeverría, 2003). Valores de prioridade, honestidade, originalidade, prestígio tomaram conta da querela.

Leibniz foi acusado de plágio quando em 1684 decide publicar seu artigo sobre o cálculo sem mencionar os trabalhos de Newton. Ele conhecia os avanços de Newton nessa matéria que, em 1675 e 1676, dirigiu cartas a Leibniz, através de Henry Oldenburg, então secretário da Royal Society, comunicando os princípios de seu cálculo de fluxões.

A disputa começa a ficar acirrada quando Leibniz, em 1711, envia uma carta à Royal Society protestando a acusação de John Keill o qual, em um artigo sobre forças centrífugas publicado em 1709, diz que:

Todas estas [proposições] decorrem da hoje altamente celebrada aritmética das fluxões, que o Sr. Newton, sem sombra de dúvida, foi o primeiro a inventar, como poderá facilmente determinar qualquer um que leia suas cartas publicadas por Wallis; essa mesma aritmética, entretanto, com um nome diferente e usando uma notação diferente, foi posteriormente publicada nas *Acta Eruditorum* pelo sr. Leibniz (Westfall, 1995, p. 278).

Leibniz exige, reivindicando inocência, uma retratação de Keill. Diante de réplicas e tréplicas, uma comissão constituída pela Royal Society é formada para examinar cartas e documentos referentes ao assunto. A comissão foi, nitidamente, partidária de Newton; não surpreende, assim, que ela tenha dado ganho de causa a ele.

Aqui se vê claramente como aspectos subjetivos e políticos também estão presentes em controvérsias argumentativas. Elementos externalistas, que não envolvem o conhecimento científico em si, fazem parte do contexto de desenvolvimento da trama na ciência. Como ressalta Westfall (1995), fazendo menção a um escrito de Keill:

O método diferencial é um e o mesmo que o método das fluxões, excetuando-se o nome e o estilo de notação (...) e, por conseguinte, consideramos que a questão apropriada é, não quem inventou este ou aquele método, mas quem foi o primeiro inventor do método, e cremos que os que reputaram o sr. Leibniz como o primeiro inventor tinham pouco ou nenhum conhecimento de sua correspondência com o sr. Collins e o sr. Oldenburg, muito anterior, nem de que o Sr. Newton dispunha desse método mais de quinze anos antes (Westfall, 1995, p. 283).

Newton inventa o método das fluxões entre 1666 e 1669 e o publica em 1704. Como resultado de seus próprios estudos independentes, Leibniz desenvolve o cálculo diferencial, publicando seus estudos em 1684 (Echeverría, 2003). As descobertas seguiram caminhos distintos, tanto em termos conceituais quanto metodológicos. Analisar esse episódio em retrospectiva, com efeito, evidencia que de fato as descobertas foram independentes e que Leibniz é “inocente”. Conquanto, suas entrelinhas mostram nitidamente um jogo controverso que se fez valer do *status* de cada oponente e sua influência na comunidade.

No século XVI, Copérnico, ao propor o seu sistema, também se envolve em uma controvérsia que abala o cânone da astronomia que reinava hegemônica desde o século II: o sistema ptolomaico. Na astronomia de Ptolomeu, a Terra é imóvel e centro do universo. Os artifícios matemáticos de seu sistema, não tendo compromisso com a realidade física, “salvavam as aparências” com razoável precisão. Mesmo contrapondo-se a astronomia realista de Aristóteles, “os rumos que a astronomia toma sob essa filosofia contribuem, curiosa e decisivamente, para realçar a dicotomia entre o céu e a Terra, tão acentuadamente enfatizada na filosofia aristotélica” (Peduzzi, 2016, p. 36).

Copérnico, mesmo usando vários artifícios matemáticos da astronomia ptolomaica, sustenta que o Sol, e não a Terra, é o ‘centro’ do universo⁷:

Quem, com efeito, nesse esplêndido templo colocaria a luz em lugar diferente ou melhor do que aquele de onde pudesse iluminar ao mesmo tempo todo o templo? Portanto, não é impropriamente que certas pessoas chamam-no de lâmpada do mundo, outros de sua mente, outros de seu governante (Copérnico, 2009, p. 68-69).

Isto revela um claro rompimento com a evidência dos sentidos e com o dogma aristotélico de que a Terra é imóvel e centro do mundo. Cabe ressaltar, todavia, que tanto no sistema aristotélico quanto no sistema ptolomaico a Terra ocupa a posição central, mas é somente no sistema aristotélico que a Terra é centro de todos os movimentos. Por que então a comunidade científica deveria aderir a um novo paradigma? Kuhn (1979) destaca que a astronomia ptolomaica já vinha fracassando em suas aplicações, apresentando anomalias (Moschetti, 2004). Apesar de os dados observacionais do sistema ptolomaico serem compatíveis, ao menos em proporções idênticas, ao copernicano, reconhecer e aceitar um novo sistema astronômico matematicamente formulado, concebido sobre novas bases era uma maneira de solucionar problemas não resolvidos pelo paradigma anterior. Como o próprio Kuhn

⁷ Na verdade, no sistema copernicano a Terra e os demais planetas não se movem à volta do Sol, mas sim em relação a um ponto muito próximo a ele – o centro da órbita da Terra.

(2011) sinaliza, “quando se trata de uma teoria científica, ser admiravelmente bem-sucedida não é a mesma coisa que ser totalmente bem-sucedida” (p. 96).

O sistema ptolomaico necessita do equante, um artifício matemático que para Copérnico inviabiliza o princípio platônico da uniformidade do movimento circular. “Assim, o primeiro impulso de Copérnico para reformar o sistema ptolomaico se originou do desejo de remover dele um erro de menor importância, uma coisa que se não conformava estritamente aos princípios conservadores de Aristóteles” (Koestler, 1989, p. 136). Cabe ressaltar que, exceto pelo equante, Copérnico, como já foi mencionado, vale-se das mesmas técnicas e dispositivos matemáticos que os usados por Ptolomeu.

Decerto, o rompimento com um conhecimento estabelecido nem sempre se dá sem questionamentos e resistências. Copérnico sofre acusações que envolvem tanto fatores epistêmicos, no que se refere a problemas de ordem física e astronômica, como aqueles não-epistêmicos, sobretudo, com a oposição da Igreja à sua concepção de retirar o homem do centro do universo. Neste caso, os fatores alheios à ciência desempenham um papel particularmente importante (Kuhn, 2011). Isto fez Copérnico relutar em anunciar a sua obra seminal, o “*De revolutionibus orbium caelestium*”.

Não obstante, a obra foi publicada em 1543 e o seu prefácio, escrito por Andreas Osiander, contribuiu decisivamente para que ela não desencadeasse um conflito avassalador, naquele momento, com a Igreja⁸. Não há consenso sobre se Copérnico concordou ou mesmo se chegou a ler o prefácio. O certo é que ele coloca a teoria copernicana nos limites de uma astronomia matemática, sem compromisso com a realidade física. Em um trecho do “épico” prefácio, Osiander explicita que

Os aristotélicos e os teólogos serão facilmente aplacados se souberem que várias hipóteses podem ser usadas para explicar os mesmos movimentos aparentes, e que estas hipóteses não são propostas por serem realmente verdadeiras, mas por serem as mais convenientes no cálculo dos aparentes movimentos compostos (Koestler, 1989, p. 112).

Todavia, Copérnico pensa a mobilidade da Terra e estabilidade do Sol como uma realidade genuína na ciência (Peduzzi, 2016). Este episódio abrange, assim, uma controvérsia de cunho epistemológico entre a astronomia matemática e a astronomia física (e com ela a interrogação de que corpo está no centro do universo). Isto é, a natureza e a adequação da construção teórica copernicana, assim como o seu impacto social, permeiam a controvérsia em questão.

Para se compreender e aceitar o sistema copernicano em sua plenitude, precisar-se-ia romper definitivamente com a filosofia aristotélica. O impacto social da sua proposta, tomada no âmbito da astronomia física, modificou posteriormente toda uma visão de mundo; mas em vida, Copérnico não viu isso acontecer, infelizmente.

No tocante as controvérsias *analíticas, resistivas e argumentativas*: uma síntese (in)acabada

As controvérsias analíticas, resistivas e argumentativas, exemplificadas à luz de alguns episódios históricos específicos, explicitam que a dinâmica e os fatores envolvidos em uma polêmica científica dependem das particularidades contextuais de cada tipo de controvérsia. Não obstante, em termos gerais, as três classificações trazem à tona distintos aspectos relativos à Natureza da Ciência que notoriamente deixam transparecer uma ciência viva, dinâmica, contestável, questionadora, metodologicamente plural, valorada, subjetiva; uma ciência efetiva e não idealizada.

O ensino de ciências requer uma compreensão dos debates na ciência, e conseqüentemente de concepções *sobre* a ciência que eles suscitam. Nesse sentido, por apresentar exemplos históricos

⁸ “Vale observar que o *De revolutionibus* só foi posto no Index dos livros proibidos pela Igreja Católica em 1616, depois da publicação da “Astronomia nova” de Kepler (em 1609) e da carta que Galileu endereçou à Duquesa Cristina de Médici (em 1615), na qual defende o copernicanismo” (Peduzzi, 2016, p. 107-108).

concretos (que podem ser aprofundados) e uma discussão filosófica passível de ser introduzida em sala de aula, entende-se que a classificação desenvolvida neste artigo pode auxiliar propostas didáticas que visem tratar aspectos relativos à Natureza da Ciência no ensino de ciências.

Kipnis (2001) ressalta que uma das formas mais profícuas de se utilizar história da ciência, e inevitavelmente a filosofia da ciência, em sala de aula é por meio de uma discussão aprofundada de controvérsias científicas. “Acompanhar um debate científico pode melhorar a compreensão dos estudantes do modo de trabalho interno da ciência, em particular, a introdução de uma nova teoria científica e sua relação com a experimentação”. (Kipnis, 2001, p. 33).

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 (Peduzzi & Raicik, 2017, p. 39).

As controvérsias analíticas aparecem na ciência quando um corpo de conhecimento ainda está em processo de desenvolvimento. A disputa pré-paradigmática, envolvendo aspectos empíricos, traz à tona, sobretudo, experimentos que podem ser considerados exploratórios (Steinle, 1997; Raicik & Peduzzi, 2015), os quais, além da dinâmica contextual da polêmica, evidenciam um constante jogo entre hipóteses e experimentação. Um dos aspectos mais impactantes desse tipo de controvérsia é o advento de um paradigma científico. A estruturação de um novo conhecimento, produto de um intenso debate, revela que embora uma controvérsia possa surgir com a constatação de um fenômeno novo, por exemplo, o seu desenrolar é tão complexo que pode resultar em um conjunto de compromissos de pesquisa, que abarca a explicação empírica, mas não somente ela; pode englobar generalizações simbólicas, modelos, valores, exemplares (Kuhn, 2011).

Nas controvérsias resistivas plurais, pautadas em um novo fenômeno, que também são passíveis de comportar experimentações exploratórias, percebe-se de forma mais explícita a relação inerente entre os contextos da descoberta e da justificativa. Isto é, as possíveis ligações entre os aspectos heurísticos e lógicos em uma pesquisa científica. Elas podem revelar, como as controvérsias analíticas, que a ideia de um experimento crucial, que permite *per se* dirimir debates e decidir entre teorias ou hipóteses distintas, é um mito (Hodson, 1988; Raicik; Peduzzi & Angotti, 2017). Vigorosamente elas mostram que, por vezes, os estudiosos estão tão imersos em seus pressupostos teóricos que se recusam a abandoná-los ou a reconhecer um novo fenômeno. Ademais, explicitam que a ciência não se desenvolve de forma linear. As controvérsias resistivas céticas, que não envolvem uma nova teoria, mas se debruçam no paradigma vigente, quer porque ele não dá conta de explicar um novo fenômeno, seja porque não o reconhece empiricamente, revelam pressupostos teóricos e metodológicos que não são abalados facilmente pelo componente empírico.

A dinâmica de uma controvérsia argumentativa, por outro lado, difere das demais principalmente por permitir o debate interparadigmático. Essas controvérsias não se pautam em termos empíricos; o foco não está em um novo fenômeno. Neste sentido, elas comportam, de maneira mais notável, elementos retóricos, subjetividades, um espectro de valores internos e externos à ciência. A reivindicação de uma descoberta permite evidenciar que o jogo da ciência comporta descobertas simultâneas, no qual os métodos ou as concepções teóricas que norteiam cada descobrimento podem ser distintos.

Baltas (2000), ao trazer à tona as “suposições de fundo”, evidencia tanto fatores que propiciam, ao estudo dos debates científicos, fundamentos acerca do conhecimento, isto é, da essência de seus constructos teóricos, quanto àqueles que relevam a influência da (inter) subjetividade (Lima, 2014). Pode-se dizer, a fim de elucidar a relação da concepção baltasiana com aquela aqui concebida, que uma controvérsia analítica, por exemplo, é capaz de ser ‘profunda’, ‘decisiva’ ou ‘superficial’. Dependendo do seu contexto, os estudiosos envolvidos podem discordar em termos constitutivos,

interpretativos, participativos e de preferência. Com sua classificação de controvérsias, Baltas não tem pretensão, ao menos diretamente, de atingir o ensino de ciências; portanto faz uso de uma linguagem e uma análise argumentativa abstrusa para este público. Desta forma, defende-se, como supracitado, que as controvérsias analíticas, resistivas e argumentativas, desenvolvidas neste artigo, além de poderem *abranger e englobar* as categorias de Baltas, apresentam uma classificação que poderia, em seu nível histórico e filosófico, ser trabalhada em sala de aula.

As apreciações de Goodwin (2013), acerca de parte da filosofia kuhniana, também inspiraram a classificação das três controvérsias debatidas neste artigo. Assim como Baltas, Goodwin sustenta sua análise de controvérsias não revolucionárias pautado em discussões filosóficas bastante profundas. Isto, naturalmente, dificulta o acesso direto de seu estudo para trabalhar com questões específicas de ensino. Com efeito, a abordagem que ele faz de Kuhn forneceu valiosos subsídios, e fundamentação, para uma classificação mais abrangente e acessível de controvérsias científicas, como a proposta e desenvolvida no presente artigo.

Um aspecto de grande relevância no estudo de controvérsias, não analisado neste artigo, é a maneira com que elas são resolvidas; os elementos envolvidos na escolha teórica, os valores internos e externos à ciência que influenciam uma comunidade e os seus sujeitos, a limitação do componente empírico como argumento proeminente em um debate. Isto, juntamente com a análise da gênese e do processo de uma controvérsia, pode auxiliar no rompimento da visão, em geral presente no ensino, de que a experimentação, por si só, resolve conflitos.

As implicações do tema são inúmeras, cada uma delas pode propiciar análises *sobre e da* ciência no ensino. Em síntese, as três classificações aqui desenvolvidas podem mostrar o quanto o empreendimento científico é rico em termos de produção de conhecimento, posto que denotam um processo dinâmico, vivo, onde perpassam elementos epistêmicos e não epistêmicos. O cientista não é um autômato que segue um roteiro e chega a um resultado sem ambiguidades. Pelo contrário, ele é muitas vezes o protagonista de severos debates, do desejo sublime de reconhecer a natureza, entendê-la e explicá-la.

Com efeito, como sublinha Dascal (1994), a rigorosa pesquisa das 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” (p. 77). Isto é, as querelas acendem a chama do desenvolvimento científico.

No âmbito do ensino, ainda, há perspectivas didáticas que visam, por exemplo, a formação de um estudante capaz de tomar decisões fundamentadas em situações recorrentes da sociedade (Andrade; Genovese & Genovese, 2017). O reconhecimento, por parte desses sujeitos, de que a ciência é permeada por contextos sociais, políticos, econômicos, tecnológicos, pode torná-los cidadãos mais críticos e cientes da não neutralidade científica. As pesquisas em educação científica também têm mostrado, como apontam Ramos e Silva (2007), que o tema de controvérsias pode ser tratado no âmbito do seu favorecimento à construção de discursos sobre as questões de ciência e tecnologia por parte de estudantes em formação, à relação interdisciplinar existente na própria sociedade e à aproximação entre o discurso científico e aquele de estudantes de ciências. Isso evidencia que as análises de controvérsias, e suas implicações em situações de ensino-aprendizagem, estão inseridas em um campo amplamente aberto e novo à pesquisa.

Referências

- Andrade, D. X.; Genovese, C. L. C. R., & Genovese, L. G. R. (2017). A controvérsia entre o blu-ray e o hd-dvd em aulas de física na perspectiva da social construction of technology (scot). *Experiências em Ensino de Ciências*, 12(2), 1-23.
- Bacon, F. (1979). *Novum Organum ou verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza*; Nova Atlântica. Tradução de José Aluysio de Andrade. São Paulo: Abril Cultural, 1979.
- Baltas, A. (2000). Classifying scientific controversies. In: Machamer, P.; Pera, M., & Baltas (Ed.). *Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives* (pp. 40-49). New York: Oxford University Press.
- Barrota, P., & Dascal, M. (2005). *Controversies and Subjectivity*. Amsterdam: John Benjamins Publishing Company.
- Brante, T., & Elzinga, A. (1990). Towards a theory of scientific controversies. *Science Studies*, 3(2), 33-46.
- Bulla, M. E. (2016). *O papel das interações polêmicas (controvérsias científicas) na construção do conhecimento biológico: investigando um curso de Formação Continuada de professores sobre Evolução Humana*, 2016. 261 f. Dissertação - Programa de Pós Graduação em Educação, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.
- Cohen, I. B., & Westfall, R. S. (2002). *Newton: textos, antecedentes, comentários*. Rio de Janeiro: Contraponto: EDUERJ.
- Collins, H., & Pinch, T. (2010). *O Golem: o que você deveria saber sobre ciência*. Belo Horizonte: Fabrefactum
- Copérnico, N. (2009). *Sobre las revoluciones (de los orbes celestas)*. Madrid: Tecnos.
- Dascal, M. (1994). Epistemologia, controvérsias e pragmática. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 12, 73-98.
- Echeverría, J. (2003). Valores contrapuestos en la controversia Newton-Leibniz. In: Ferreirós, J., & Durán, A. (Ed.). *Matemáticas y matemáticos* (pp. 85-104). Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Engelhardt, H. T., & Caplan, A. L. (2003). *Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in Science and technology*. New York: Cambridge University Press.
- Ferreira, A. (2005). Controversies and the logic of scientific discovery. In: Barrota, P., & Dascal, M. (Ed.). *Controversies and Subjectivity* (pp. 115-126). Amsterdam: John Benjamins Publishing Company.
- Freudenthal, G. (1986). *Atom and Individual in the Age of Newton*. Dordrecht: Reidel.
- Goodwin, W. (2013). Structure and Scientific Controversies. *Topoi*, 32(1), 101–110.
- Granés, J. S. (2005). *Isaac Newton: Obra y Contexto una Introducción*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.
- Hacking, I. (2000). Multiple Personalities, Internal Controversies, and Invisible Marvels. In: Machamer, P.; Pera, M.; Baltas (Ed.). *Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives* (pp. 81-99). New York: Oxford University Press.

- Hodson, D. (1988). Experiments in science and science teaching. *Educational Philosophy and Theory*, 20(2), 53-66.
- Kipnis, N. (2001). Scientific controversies in teaching science: the case of Volta. *Science & Education*, 10(1-2), 33-49.
- Kitcher, P. (2000). Patterns of scientific controversies. In: Machamer, P.; Pera, M., & Baltas, A. (Ed.). *Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives* (pp. 3-17). New York: Oxford University Press.
- Koestler, A. (1989). *O homem e o universo: como a concepção do universo se modificou através dos tempos*. São Paulo: Ibrasa.
- Kuhn, T. S. (2011). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva.
- Kuhn, T. S. (1979). A Função do Dogma na Investigação Científica. In: Deus, J. D. (Ed.). *A crítica da ciência* (pp. 54-80). Rio de Janeiro: Zahar.
- Lima, I. P. C. (2014). *O uso de controvérsias científicas para a compreensão da natureza da ciência: o caso do princípio de ação mínima*, 2014. 116 f. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande.
- Machamer, P. (2000). The Concept of the Individual and the Idea(l) of Method in seventeenth-Century Natural Philosophy. In: Machamer, P.; Pera, M., & Baltas (Ed.). *Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives* (pp. 81-99). New York: Oxford University Press.
- 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, R. A. (2009). Os estudos de Joseph Priestley sobre os diversos tipos de “ares” e os seres vivos. *Filosofia e História da Biologia*, 4,167-208.
- Martins, R. A., & Silva, C. C. (2015). As pesquisas de Newton sobre a luz: uma visão histórica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 37(4), 4202: 1-32.
- Masterman, M. (1979). A natureza de um paradigma. In: Lakatos, I., & Musgrave, A (Ed.). *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento* (pp. 72-108). São Paulo: Cultrix.
- McMullin, E. (2003). Scientific controversy and its termination. In: Engelhardt, H. T., & Caplan, A. L. (Ed.). *Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in Science and technology* (pp. 49-92). New York: Cambridge University Press.
- Moschetti, M. (2004). Crises e revoluções: a revolução copernicana segundo Thomas Kuhn. *Analecta*, 5(1), 45-54.
- Narasimhan, M. G. (2001). Controversy in Science. *J. Biosci*, 26(3), 299-304.
- Newton, I. (1672). A letter of Mr. Isaac Newton, professor of the Mathematicks in the University of Cambridge; containing his new theory about light and colours; sent by the author to the publisher from Cambridge, Febr. 6. 1671/72; in order to be communicated to the R. Society, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 6(80), 3075-3087.
- Peduzzi, L. O. Q. (2016). *Força e movimento: de Thales a Galileu*. Florianópolis. (publicação interna). Disponível em: evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br

- Peduzzi, L. O. (2006). Sobre continuidades e descontinuidades no conhecimento científico: uma discussão centrada na perspectiva kuhniana. In: Silva, C.C. (Ed.). *Estudos de história e filosofia das ciências* (pp. 59-86). São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Peduzzi, L. O., & Raicik, A. C. (2017). *Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência*. Agosto, 51p. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br
- Pera, M. (2000). Rhetoric and scientific controversies. In: Machamer, P.; Pera, M., & Baltas (Ed.). *Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives* (pp. 50-66). New York: Oxford University Press.
- Popper, K. (1974). *A sociedade aberta e seus inimigos*; tradução de Milton Amado. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia.
- Raicik, 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.
- Raicik, A. C.; Peduzzi, L. O. Q., & Angotti, J. A. P. (2017). Da instantia crucis ao experimento crucial: diferentes perspectivas na filosofia e na ciência. *Investigações em Ensino de Ciências*, 22(3), 192-206.
- Ramos, M. B., & Silva, H. C. (2007). Controvérsias científicas em sala de aula: uma revisão bibliográfica contextualizada na área de ensino de ciências e nos estudos sociológicos da ciência & tecnologia. In: *VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências-VI ENPEC*, Florianópolis, SC.
- Reichenbach, H. (1938). *Experience and Prediction*. Chicago: University Chicago Press.
- Reis, P. R. (2009). Ciência E Controvérsia. *REU*, 35(2), 09-15.
- Schaffer, S. (2002). Trabalhos com vidro. In: Cohen, I. B., & Westfall, R. S. (Ed.). *Newton: textos, antecedentes, comentários* (pp. 250-286). Rio de Janeiro: Contraponto: EDUERJ.
- Silva, C. C., & Martins, R. A. (2003). A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação*, 9(1), 53-65.
- Steinle, F. (1997). Entering new fields: exploratory uses of experimentation. *Philosophy of Science*, 64, 565-574.
- Steinle, F. (2002). Experiments in History and Philosophy of Science. *Perspectives on Science*, 10(4), 408- 432.
- Toulmin, S. E. (1957). Crucial Experiments: Priestley and Lavoisier. *Journal of the History of Ideas*, 18(2), 205-220.
- Westfall, R. (1995). *A vida de Isaac Newton*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.