



DA INSTANTIA CRUCIS AO EXPERIMENTO CRUCIAL: DIFERENTES PERSPECTIVAS NA FILOSOFIA E NA CIÊNCIA

From the instantia crucis to the crucial experiment: different perspectives in philosophy and science

Anabel Cardoso Raicik [anabelraicik@gmail.com]

*Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Trindade, Florianópolis, SC, Brasil*

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

*Departamento de Física
Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Trindade, Florianópolis, SC, Brasil*

José André Peres Angotti [zeangotti@gmail.com]

*Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Trindade, Florianópolis, SC, Brasil*

Resumo

A existência e o significado dos experimentos cruciais são questões que não ostentam consenso na ciência e na filosofia da ciência. Duhem, Popper e Lakatos, por exemplo, apresentam posicionamentos antagônicos entre si e, inclusive, em relação à ideia de *instantia crucis* explicitada por Francis Bacon no *Novum Organum*. Este artigo visa resgatar a definição baconiana, reconhecendo que ela faz parte de uma postura filosófica distinta das teses contemporâneas, e discutir algumas concepções de experimento crucial tanto por filósofos da ciência, quanto por alguns estudiosos, como Newton. Ainda, apontar algumas reflexões para o ensino de ciências.

Palavras-Chave: Experimentos cruciais; Instantia crucis; Francis Bacon; Filósofos da Ciência.

Abstract

The existence and meaning of crucial experiments are issues that do not hold consensus in science and the philosophy of science. Duhem, Popper and Lakatos, for example, present antagonistic positions among themselves and even in relation to the idea of *instantia crucis* made explicit by Francis Bacon in the *Novum Organum*. This article aims at rescuing the Baconian definition, recognizing that it is part of a distinct philosophical position of contemporary theses, and discussing some conceptions of crucial experiment both by philosophers of science and by some scholars, such as Newton. Also, point out some reflections for the teaching of sciences.

Keywords: Crucial experiments; Instantia crucis; Francis Bacon; Philosophers of Science.

INTRODUÇÃO

Ao longo do século XX a filosofia restringiu, consideravelmente, a perspectiva experimental da ciência. Franklin (1986) ressaltou que nas análises histórico-filosóficas sobre a ciência desse período o que prevalecia era o domínio teórico do conhecimento, e não o da experimentação que já tinha seu papel estabelecido e indiscutível. Ao negligenciarem¹ o lado experimental da ciência, filósofos e historiadores estavam rejeitando a ideia de que o experimento pudesse também gerar teorias², deixando a sua função limitada, basicamente, ao teste das mesmas (Steinle, 2002).

Essa visão restrita, promovida pela distinção entre os contextos da descoberta e da justificativa (Reichenbach, 1938), acabou se tornando a “visão padrão” da experimentação até meados do século passado (Steinle, 2002). Desde então, as múltiplas facetas e finalidades do experimento na ciência passaram a ser bastante discutidas na filosofia da ciência (Franklin, 1986; Gooding, 2000; Hacking, 1988, 2012). As concepções pós-positivistas buscaram (e buscam) evidenciar que o experimento não é apenas demonstrativo, não tem somente o papel verificacionista ou falsificacionista e que ele não é capaz de apresentar, por si só, dados capazes de decidir entre teorias distintas (Arteaga, 2011; Hacking, 1988).

As críticas ao positivismo lógico feitas por Karl Popper (1902-1994), Imre Lakatos (1922-1974), Thomas Kuhn (1922-1996), Norwood Hanson (1924-1967), Stephen Toulmin (1922-2009), Paul Feyerabend (1924-1994) acenderam a necessidade do “novo experimentalismo” pautado em considerações históricas, sociais, culturais, epistemológicas da experimentação na ciência. Ian Hacking, precursor do novo experimentalismo, exprime em “Representar e Intervir (2012), publicado em 1983, a necessidade de se reconhecer que “*experimentalizar é criar, produzir, refinar e estabilizar os fenômenos*” (p. 13). Ele frisa que a relação entre hipótese e experimentação é peculiar e dependente de cada estágio do desenvolvimento da ciência. O confronto entre o que se idealiza e o que realmente se realiza se interligam (Raicik & Peduzzi, 2015). Isso significa que, além de carregadas de teorias, as experiências estão carregadas de prática; uma prática que envolve observações enquanto ações (Paixão, 2003).

Nesse novo percurso experimental, certas concepções apresentadas pelo filósofo Francis Bacon (1561-1626) foram e estão sendo resgatadas. A *experientia literata* (Bacon, 1882) – experiência instruída – está trazendo nos últimos anos discussões interessantes acerca das distintas funções que a experimentação pode assumir na ciência e evidenciando algumas lacunas e incógnitas para a plena compreensão da sua filosofia (Georgescu, 2011; Georgescu & Giurgea, 2012; Giglione, 2013; Jalobeanu, 2011, 2013, 2016; Oliveira, 2010; Raicik, sem ano³; Weeks, 2008).

Hacking (2012) salienta que na ciência “*é preciso ‘torcer o rabo do leão’, ou seja, manipular o mundo, de forma a desvendar seus segredos*” (p. 235), fazendo alusão às palavras baconianas. Um dos ensinamentos de Bacon foi o de justamente recomendar que se experimentasse de modo a “*sacudir as dobras da natureza*” (p. 350). É certo que Bacon não valorizou, adequadamente, o papel das hipóteses, da especulação, nem da matemática, mas nem toda crítica filosófica indutivista concebida a ele, que como Hacking diz o maltratam, condizem com sua construção filosófica. A sua indução, diferentemente daquela sustentada pelo aristotelismo, fútil e pueril, pratica a seleção orientada e contínua dos casos para a formulação de enunciados gerais (Carrilho, 1994). Em síntese, Hacking (2012) afirma que “*ele podia prever que a nova ciência seria uma aliança entre habilidades teóricas e experimentais*” (p. 350) e nesse sentido Bacon estaria respondendo a uma “*questão de Paul Feyerabend: O que há de tão especial a respeito de ciência?*” (p. 58).

A noção de experimento crucial, cuja origem remete à ideia de *instantias crucis* abordada por Bacon no *Novum Organum* (1620), também propicia profícuas reflexões, uma vez que ela denota distintas interpretações que não reúnem consenso. Hacking (2012) salientou que apesar de Bacon não ter feito nenhuma contribuição para o conhecimento científico, o “conceito” de experimento crucial foi uma de suas ideias metodológicas mais importantes. Todavia, “*a filosofia da ciência mais tardia fez dos experimentos cruciais experimentos absolutamente decisivos*” (p. 353), e isto não é compatível com o próprio relato de Bacon sobre eles. Não obstante, o significado atribuído ao experimento (ou à instância) crucial tanto no início do período moderno, por estudiosos como Robert Hooke, Isaac Newton, Robert Boyle, Luigi Galvani,

¹ Ao mencionar a ‘negligência’ do experimento, Franklin se refere à relevância (hierárquica) da teoria sobre o experimento, conferida por muitos filósofos (Gooding, 2000).

² O termo teoria é utilizado, neste artigo, como sinônimo de hipótese, assim como ocorre com frequência nas obras aqui citadas.

³ Raicik, A. C. Tese de doutorado em andamento: *Experimentos Exploratórios e Experimentos Cruciais no Âmbito de uma Controvérsia Científica: A Eletricidade Animal como Estudo de Caso*. Universidade Federal de Santa Catarina.

Alessandro Volta e outros, quanto mais adiante, por filósofos como Pierre Duhem (1861-1916), Popper, Lakatos, evidencia que o seu conceito não possui uma história contínua.

No ensino de ciências, seja por meio de professores e/ou materiais didáticos e paradidáticos utilizados em sala de aula, ainda persiste a ideia de existem experimentos cruciais na ciência – entendidos como definidores e incontestáveis – suficientes para, por exemplo, dirimir debates fervorosos (Carmo, Medeiros & Medeiros, 2000; Cupani & Pietrocola, 2002; Hodson, 1988; Schmiedecke & Porto, 2015; Silva, 2010). A noção de que “um” experimento pode fazer com que uma hipótese seja rejeitada e outra aceita com base somente na evidência empírica produzida, ignora e negligencia distintos aspectos (filosóficos, históricos, políticos, sociais, subjetivos) que influenciam fortemente a tomada de decisões na ciência. Os experimentos, ainda que relevantes, são apenas um dos distintos elementos que motivam as escolhas teóricas na ciência, que dependem de valores específicos dos sujeitos ou de uma comunidade, como bem salienta Kuhn (2011).

Nessa perspectiva, este artigo visa discorrer sobre a noção baconiana de *instantia crucis* e apresentar discussões acerca dos experimentos cruciais tanto por estudiosos como Newton, quanto por filósofos como Duhem, Popper e Lakatos. Nesse percurso, faz-se, sucintamente, contrapontos com a concepção de Bacon. Posteriormente, busca-se apontar reflexões para o ensino de ciências.

INSTANTIAS CRUCIS: A ENCRUZILHADA DE BACON

No livro II do *Novum Organum* (1620), Bacon discorreu sobre vinte e sete instâncias prerrogativas⁴ que faziam parte do seu método experimental. Após cumprir o que ele denominou de *Primeira Vindima*⁵, processo composto pelo desenvolvimento de tábuas e mecanismos complementares, o investigador deveria recorrer às técnicas auxiliares da indução. Ele enumerou várias delas, a retificação da indução, a variação da investigação segundo a natureza do assunto, as prerrogativas da natureza, os limites da investigação, a dedução e a prática, os preparativos para a investigação, a escala ascendente e descendente dos axiomas e as instâncias prerrogativas (Bacon, 1979, II, XXI, p. 134), sendo apenas esta última discutida em sua obra.

De acordo com Dimitru (2004) há, na literatura secundária, distintas interpretações acerca da função das instâncias prerrogativas. A historiadora Lisa Jardine, por exemplo, as compara com a *experientia literata*⁶. Ela argumenta que ambas são uma espécie de “*programa ad-hoc para derivar preceitos úteis de um tipo de regra e orientações para futuras operações sem recurso às formas⁷ e princípios*” (Dimitru, 2013, p. 47). Logo, admite que tanto as instâncias prerrogativas quanto a experiência instruída têm um papel na montagem eficaz da história natural e experimental, que fornece o material da indução.

Por certo, as instâncias prerrogativas podem ser entendidas, de modo geral, como observações notáveis (Hacking, 2012) ou, mais especificamente, como “*fatores que, por sua singularidade, forçam a investigação num certo sentido*” (Andrade, 1979, p. XVIII). Algumas das instâncias são observações pré-teóricas, outras são motivadas pelo desejo de testar teorias, outras tantas são realizadas por intermédio de dispositivos que auxiliam os sentidos (Hacking, 2012). Além disso, elas podem ser distinguidas em dois grupos: um com ênfase na parte informativa da filosofia baconiana e outro referente às suas operações ou práticas (Bacon, 1979).

A *instantia crucis*⁸, décima quarta instância prerrogativa apresentada, pertence a classe informativa e, juntamente com a instância de divórcio, preserva o intelecto das “*formas e causas falsas*” (Bacon, 1979, II, LII, p. 230). Literalmente, ela pode ser traduzida como “instância de encruzilhada”, uma vez que Bacon tomou o termo por referência/analogia as cruzes que se colocam nas estradas para indicar bifurcações.

⁴Instâncias solitárias, migrantes, ostensivas, clandestinas, constitutivas, conformes, monádicas, desviantes, limitativas, da potestade, de acompanhamento e hostis, subjuntivas, de aliança, cruciais, de divórcio, da porta, de citação, do caminho, suplementares, secantes, da vara, do currículo, de dose da natureza, de luta, indicadoras, policrestas e, por fim, mágicas.

⁵A *Primeira Vindima* consistiria de axiomas inicialmente coletados que podem ser chamados de hipóteses provisórias. Isto é, “suposições que sugerem experimentos ou observações que, por sua vez, irão reafirmá-las ou corrigi-las, indicando e designando novos fatos e, por esta via, tornando ativas as ciências” (Oliveira, 2010, p. 183).

⁶A experiência instruída teria duas funções principais na investigação da natureza: i) gerar experimentos lucíferos (luminosos) – cuja função permite a descoberta das causas e dos princípios; ii) preparar a mente para o trabalho de interpretação (Raicik, Peduzzi & Angotti, 2017).

⁷ Formas nada mais são do que as leis da natureza (Horton, 1973).

⁸ Como o próprio Bacon ressaltou, elas podem ser chamadas de “*instâncias decisivas e judiciais e, em alguns casos, de instâncias de oráculo e mandato*” (Bacon, 1979, II, XXXVI, p. 161).

“Quando, na investigação de uma natureza⁹, o intelecto se acha inseguro e em vias de se decidir entre duas ou mais naturezas que se devem atribuir à causa da natureza examinada, em vista do concurso frequente e comum de mais naturezas, em tais situações, as instâncias cruciais indicam que o vínculo de uma dessas naturezas com a natureza dada é constante e indissolúvel, enquanto o das outras é variável e dissociável. A questão é resolvida e é aceita como causa da primeira natureza, enquanto as demais são afastadas e repudiadas” (Bacon, 1979, II, XXXVI, p. 161).

Em outras palavras, quando duas (ou mais) causas parecem responder igualmente bem a uma determinada natureza, faz-se necessário encontrar um fato que pode ser explicado, somente, por uma delas. Isso implica que as instâncias cruciais podem apresentar tanto a função de refutar algumas explicações quanto a de confirmar uma das causas (Dumitru, 2013). Efetivamente, elas *“são muito esclarecedoras e têm uma significativa autoridade. Muitas vezes, nelas termina o curso da investigação ou em muitas outras este é por elas completado”* (Bacon, 1979, II, XXXVI, p. 161).

No aforismo XXXVI, do livro II do *Novum Organum*, há distintos exemplos que elucidam o conceito de instância crucial. Um deles refere-se a natureza do peso e da gravidade. Inicialmente, é apresentado duas hipóteses em relação aos corpos pesados: i) eles tendem, por natureza, ao centro da Terra; ii) são atraídos e arrastados pela força da própria massa terrestre. Assumindo que a segunda conjectura seja verdadeira, prossegue-se admitindo que quanto mais próximos os graves (corpos) se encontram da Terra, maiores serão a força e o ímpeto com que são impelidos a ela. No processo antagônico, mais fraca e lenta se torna essa força. Isso posto, Bacon propõe um experimento que consiste, primeiramente, na sincronização de dois relógios – um movido por contrapeso de chumbo e o outro por compressão de uma mola de ferro – e, em seguida, na verificação de seus movimentos, sendo que um encontra-se no ápice de um templo altíssimo e outro na sua base. A princípio, o relógio colocado no alto deveria se mover “mais lentamente em virtude da menor “força de gravidade”¹⁰. Para não obter resultados precipitados, Bacon ressaltou que:

“A experiência deve [deveria] ser repetida com a colocação do relógio nas profundezas de alguma mina situada muito abaixo da superfície da terra, para ser verificado se ele se move mais velozmente que antes, em razão de maior força de atração. Se se verificar que efetivamente o peso dos corpos diminui com a sua colocação no alto e que aumenta embaixo, quando mais próximos do centro da terra, então estará estabelecido que a causa do peso é a atração da massa terrestre” (Bacon, 1979, II, XXXVI, p. 166).

Este experimento poderia ser, como dito por Bacon, uma instância crucial. Muitas dessas instâncias, como ele afirmou, *“são buscadas, aplicadas intencionalmente e estabelecidas com trabalho árduo e diligente”* (Bacon, 1979, II, XXXVI, p. 161), ou seja, não são fornecidas pela natureza, como o exemplo aludido. Esse experimento serviria, a princípio, para confirmar a segunda hipótese e, conseqüentemente, refutar a anterior. Todavia, apesar de ser uma *“ideia maravilhosa”*, ela era impraticável naquela época. Assim, no final, a instância serviria para reafirmar a teoria aristotélica de movimento natural¹¹. *“Entretanto, o fato de que, nesse caso, o experimento nos levaria à estrada errada não preocuparia Bacon: ele jamais disse que os experimentos cruciais precisam dar fim à tarefa da interpretação”* (Hacking, 2012, p. 354).

Em outro exemplo, Bacon salientou que uma causa da instância crucial pode ser duvidosa e, desta forma, fazer com que a investigação tenha que prosseguir. Ao discorrer sobre a natureza da polaridade de uma agulha de ferro quando tocada por um magneto, ele diz que sua explicação se bifurca na seguinte ordem: i) o magneto comunica à agulha a capacidade de se voltar para o polo; ii) a agulha é excitada pelo magneto, mas o movimento em si, é causado pela presença da Terra. A segunda hipótese foi afirmada por William Gilbert que considerou a Terra uma grande esfera magnética. Bacon sugeriu, assim, uma instância crucial que consiste em analisar os polos de um magneto esférico, em analogia com a Terra, quando sobre ele for colocado uma agulha não imantada e ali mantida por vários dias. Sendo que os polos da agulha passam a ser os mesmos que os do magneto, cabe analisar o comportamento dela quando tirada do magneto. Se ela se voltar na direção do eixo da Terra subitamente ou pouco a pouco, a causa é a presença da Terra. Do contrário, *“considere-se a causa como duvidosa e prossiga-se na investigação”* (Bacon, 1979, II, XXXVI, p. 167).

⁹ O termo na natureza, para Bacon, *“significa ou equivale à propriedade ou qualidade predicável de um corpo”* (Andrade, 1979, p. 93).

¹⁰ Expressão utilizada por Bacon (1979).

¹¹ Peduzzi, 2015.

Nesse exemplo, caso se constate a causa pela presença da Terra, tem-se a função da instância de confirmação. No entanto, se não for verificado isso, novos caminhos devem ser abertos e percorridos. Afinal, “*mesmo aqueles que acabam tomando a estrada errada, em virtude de um equívoco dos postes de sinalização, podem sempre retrair seus [sic] passos*” (Hacking, 2012, p. 354-355).

Com efeito, as instâncias cruciais exigem o desenvolvimento de experimentos luminosos, isto é, aqueles que são necessários para a descoberta de causas e princípios (Weeks, 2008). É importante destacar, também, que elas são decisivas apenas às vezes (Hacking, 2012). Afinal, nenhuma coleta de casos, mesmo que possua caráter confirmador, propicia uma conclusão definitiva, “*pois esta está sempre vulnerável ao perigo do confronto com uma instância contraditória*” (Silva, 2008, p. 14).

Após a publicação do *Novum Organum*, o termo passou a ser utilizado – com a variação de *instantia* para *experimentum* –, com apelo retórico ou não, por alguns estudiosos que parecem fazer alusão aos princípios baconianos que, fortemente, passaram a guiar os passos da ciência moderna.

EMPREGO DO TERMO *EXPERIMENTUM CRUCIS* NO INÍCIO DA CIÊNCIA MODERNA: OS ESTUDOS DE NEWTON SOBRE LUZ E CORES

No final do século XVII, houve uma nova tendência na escrita dos estudos desenvolvidos na ciência e Boyle pode ser considerado um dos principais defensores da “nova filosofia”, tendo continuado o legado de Bacon (Sargent, 1989). A influência baconiana é notória em sua obra. Em 1662, em *A Defence of the Doctrine Touching the Spring and the Weight of the Air*, ele parece ter usado pela primeira vez o termo *experimentum crucis*.

Boyle utilizou a expressão para um experimento que envolvia a explicação do comportamento do mercúrio em tubos de Torricelli nos altos e nos pés das colinas (Boyle, 1662). Assim, ele salientou que os fenômenos observados nos tubos deveriam ser explicados pela pressão atmosférica ou por uma espécie de resistência ao vácuo. Essa segunda hipótese era defendida pelo jesuíta Franciscus Linus que tinha aversão ao vazio e admitia que a “suspensão do mercúrio dar-se-ia por conta da atração produzida por ar rarefeito ou sutil que se infiltraria e preencheria o espaço deixado pelo mercúrio” no tubo (Ribeiro, 2006). Apenas um experimento, que mostrasse um efeito explicado por apenas uma teoria, deveria ser buscado (Dumitru, 2013).

“E tal Experimentum Crucis (para falar como nosso ilustre Verulam¹²) é concebido pela nobre observação de M. Paschal, mencionada pelo famoso Pecquet, e fora dele pelo nosso autor: a saber, que a experiência de Torricelli, realizada ao pé e em diferentes partes de uma montanha alta (de altitude de quinhentas braças ou três mil pés) [equivalente a aproximadamente 1000m], depois de ter subido cento e cinquenta braças [~330m], o mercúrio caiu duas polegadas e um quarto abaixo de sua posição ao pé da montanha; e que no topo da colina havia descido acima de três polegadas” (Boyle, 1662, p. 48-49).

A hipótese de Linus não poderia dar conta de explicar o que ocorreu, enquanto a outra previa exatamente esse efeito. Boyle, utilizou assim o experimento crucial com a função demonstrativa. Reside aqui “*um exemplo quase perfeito de uma instância crucial de Bacon*” (Dumitru, 2013, p. 55).

Robert Hooke também adotou o adjetivo crucial a uma de suas experiências apresentada na *Micrographia*, publicada em 1665. Ao que parece ele provavelmente teria escrito a palavra errada; por escrever de memória substituiu *instantie* por *experimentum* (Silva & Martins, 1996). Todavia, como ressaltado anteriormente, as instâncias de Bacon poderiam se referir a experiências e/ou observações de distintas ordens. Assim, Hooke pode ter intencionalmente escrito *experimentum*, modificando o termo, mas mantendo a essência da ideia baconiana – ao menos do seu ponto de vista; assim como fez Boyle.

Discorrendo sobre o fenômeno das cores que apareciam quando a luz penetrava diferentes tipos de lâminas transparentes delgadas, Hooke salientou que

“(…) acima de tudo, o que é mais observável, é que aqui estão todos os tipos de cores geradas em um corpo transparente, onde não há propriamente nenhuma refração como Descartes¹³ supõe (...) Esta Experiência, portanto, vai provar tal

¹² Boyle se refere a Bacon, cujo título de Barão de Verulam lhe foi atribuído.

¹³ “A lei da refração da luz foi descoberta pelo físico holandês Willebrord Snell entre 1621 e 1625. Contudo, não se sabe exatamente quando isso ocorreu e nem como ele procedeu, pois o manuscrito em que descreveu esse resultado foi perdido (...). A lei que estabelece

como o nosso três vezes [thrice] excelente Verulam chamou um Experimentum Crucis, servindo como um guia ou marco divisório, pelo qual direciona nosso curso na busca da verdadeira causa das cores” (Hooke, 1665, p. 54).

Conforme destacou Dimitru (2004), embora tenha tido a função de refutação (ao que se refere a teoria de Descartes) a experiência de Hooke não ofereceu subsídios para confirmar uma teoria alternativa; ela não existia. Para além disso, ela serviu para o desenvolvimento da sua própria teoria.

Newton parece ter sido influenciado pela expressão usada por Hooke em sua obra. Todavia, ele teria utilizado o termo *experimentum crucis* com apelo retórico, em homenagem a Bacon (Granés, 2001). Ou, ainda, escrito para conferir maior credibilidade em uma cultura que primava pelo apelo experimental. Algumas passagens de seus trabalhos podem indicar, não obstante, que ele denominou um de seus principais experimentos de crucial com Descartes e Hooke em sua mente (Westfall, 1962). “*Hooke explicitamente desafiou o status epistêmico da teoria de Newton: ‘não posso pensar que ela seja a única hipótese’*” (Zempler & Demeter, 2010, p. 645).

Em seu artigo “Nova Teoria sobre Luz e Cores”, publicado em 1672, Newton explicou o fenômeno da formação das cores devido à refração (Cohen & Westfall, 2002; Granés, 2001; 2005; Silva & Martins, 1996). Uma de suas experiências, que instigou o desenvolvimento de diversas outras, inclusive a crucial, foi assim descrita por ele:

“(...) tendo escurecido meu quarto e feito um pequeno orifício na veneziana de minha janela, para admitir a entrada de uma quantidade conveniente de luz solar, coloquei meu prisma à entrada dele, para que a luz fosse refratada para a parede oposta. A princípio, foi uma diversão muito agradável observar as cores vívidas e intensas assim produzidas, mas, depois de algum tempo empenhando-me em examiná-las com maior circunspeção, surpreendeu-me vê-las em uma forma oblonga, porquanto, segundo as leis aceitas da refração, eu esperava que ela fosse circular” (Newton, 1672, p. 3076).

Os experimentos decorrentes envolveram a busca incessante de Newton pela explicação da forma oblonga, sem que fosse preciso abandonar a lei da refração de Descartes – que admitia que o raio incidente e o raio refratado que saem de um prisma se comportam de maneira simétrica na posição de desvio mínimo do prisma. Inicialmente, ele passou a averiguar distintas hipóteses que poderiam produzir o alongamento do espectro. Newton admitiu que a causa do problema poderia estar nos componentes de seu experimento, em uma possível irregularidade no vidro ou ainda a uma falta de paralelismo do feixe de luz proveniente do Sol que penetra o orifício da persiana, devido ao tamanho do astro e a sua distância finita da Terra. Mas todas estas conjecturas se mostraram infrutíferas.

A verificação da não procedência dessas hipóteses levou Newton, então, ao seu famoso experimento: “*a eliminação gradual dessas suspeitas finalmente levou-me ao Experimentum Crucis*” (Newton, 1672, p. 3078). Em síntese, o experimento era composto de uma lente à frente de um prisma, pela qual passava a luz solar. A lente possibilitava produzir um espectro fino e com cores bem definidas em um anteparo. Um furo no anteparo permitia que uma pequena faixa do espectro passasse por um segundo prisma, que não decompunha a luz em novas cores, apenas produzia uma mancha da cor selecionada.

De acordo com Bacon, a *instantia crucis* demandava, sobretudo, um experimento cuidadosamente planejado, mas não qualquer experimento. Os designados luminosos, que objetivavam encontrar as causas dos fenômenos investigados, deveriam ser realizados e priorizados. Bacon, em conclusão à descrição das instâncias cruciais, afirma que elas “*foram tratadas um pouco longamente para, aos poucos, habituar a mente humana a julgar por seus próprios meios e segundo experimentos lucíferos, e não a partir de razões prováveis*” (Bacon, 1979, II, XXXVI, p. 171). Isso parece ter sido o que Newton fez. Granés (2001), por exemplo, classifica esse experimento como luminoso.

A princípio, “*apresentar o experimentum crucis como uma instância de descobrimento em lugar de uma instância de corroboração é, por parte de Newton, uma hábil concessão retórica ao espírito baconiano que primava na Royal Society*” (Granés, 2001, p. 38). Não obstante, durante as discussões com os críticos, o discurso newtoniano se altera. Muitos estudiosos alegaram que, ao tentar reproduzir o famoso experimento, não obtiveram os mesmos resultados encontrados por Newton. Aliás, alguns estavam propondo experimentos que contrariavam as conclusões dele (Silva & Martins, 1996). Embora o experimento tenha sido apresentado

que a razão entre o seno do ângulo de incidência e o seno do ângulo de refração é constante para um dado par de meios foi demonstrada formalmente por René Descartes em sua ‘Dióptrica’” (Peduzzi, 2015, p. 56).

como suficiente para concluir que a luz solar é heterogênea, não era possível argumentar isso somente a partir dele, pois existiam outras explicações possíveis. A luz branca poderia ser de alguma forma transformada ou, ainda, poderia se aferir que o prisma criava as cores.

Dessa maneira, não foi um único experimento, mas um conjunto¹⁴ deles que permitiu estabelecer que os raios de luz possuíam propriedades intrínsecas, que não podiam ser modificadas por refrações, responsáveis pela produção de cores. As variantes do experimento crucial mostravam, ainda, de forma concludente, que a cada raio que produzia uma cor se associa um grau específico de refração e vice-versa (Assis, 2002). Antagonicamente à concepção boyleana, Newton afirmou que a demonstração de um único experimento, bem julgado, poderia suprir a reiteração de um grande número de experimentos. Isso é condizente, em parte, com a ideia de *instantia crucis*. Um experimento poderia direcionar o caminho, quando mais de uma via se apresentasse. Embora o argumento de Newton possa induzir à ideia da existência de um experimento único com o qual se apresenta algo de forma indiscutível e decisivo, os seus estudos evidenciam a realização de uma gama de experimentos que, dialogados com diversas hipóteses, distanciam-no fortemente de um empirista absolutamente indutivista. Logo, em termos baconianos, seu *experimentum crucis* parece não ter sido, de fato, tão crucial assim.

Por certo, a *instantia crucis*, normalmente (e de forma geral) traduzida como “experimento crucial”, a partir da utilização do termo por Boyle, Hooke e sobretudo por Newton, serviu de inspiração para distintas discussões no âmbito da filosofia da ciência. Não obstante, os séculos XIX e XX parecem tê-lo resgatado com o caráter puramente definidor, e não também com o sentido de descoberta ou invento, como conceitualizado por Bacon (Amaro, 2009).

EXPERIMENTOS CRUCIAIS: INCONSONÂNCIAS NA FILOSOFIA DA CIÊNCIA

A noção de Bacon de *instantia crucis* foi retomada, em termos, por alguns filósofos da ciência que, com distintas concepções, distanciaram-se mais ou menos da ideologia baconiana. De acordo com Hacking (2012) a visão mais comum que se tem sobre os experimentos cruciais é que eles favorecem apenas uma teoria, quando há duas (ou mais) em competição. Todavia, há posturas filosóficas que assumem, por exemplo, que eles existem apenas em retrospectiva ou, ainda, que nem podem existir.

Duhem foi um físico, historiador e filósofo da ciência que argumentou a inexistência de experimentos cruciais. Analisando a ciência em sua contemporaneidade ele salientou sem, contudo, concordar que:

“Queremos obter de um grupo de fenômenos uma explicação teórica certa e incontestável? Enumerem-se todas as hipóteses que é possível fazer-se para dar conta desse grupo de fenômenos; depois, pela contradição experimental, eliminem-se todas, salvo uma. Esta última deixará de ser uma hipótese para tornar-se uma certeza. Suponha-se, em particular, que apenas duas hipóteses estejam presentes. Procurem-se as condições experimentais tais que uma das hipóteses anuncie a produção de um fenômeno e a outra um fenômeno completamente diferente e realizem-se essas condições observando o que acontece. Conforme seja observado o primeiro dos fenômenos previstos ou o segundo, condenar-se-á a segunda hipótese ou a primeira; aquela que não for condenada será, de agora em diante, incontestável. O debate estará resolvido, uma verdade nova será adquirida pela física. Este é o teste experimental que o autor do Novum Organum chamou de fato crucial, tomando essa expressão das cruzes que em uma interseção indicam vários caminhos” (Duhem, 1984, p. 555).

Duhem contestou, contundentemente, essa metodologia que utilizava a redução ao absurdo¹⁵ (*reductio ad absurdum*) para a edificação de verdades na ciência. Na geometria, esse método era adotado na refutação, porém na física passou a ser empregado como meio de demonstração (Amaro, 2009). A contradição experimental – a refutação –, conforme ele argumentou, não era capaz de transformar uma hipótese em uma verdade indiscutível, a menos que se enumerasse as diversas hipóteses que envolvem um determinado grupo de fenômenos, mas isso não é possível. Um “físico nunca está seguro de ter esgotado

¹⁴ Os experimentos variantes são explicitados, comentados e ilustrados na “Óptica” (Newton, 2002).

¹⁵ “O método de redução ao absurdo consiste inicialmente em admitir como verdadeira a negação de determinada afirmação e continuando-se o processo de demonstração observa-se, como consequência, o surgimento de uma contradição, o que torna a negação da hipótese inicial um absurdo” (Galvão, Santos & Barbosa, 2016, p. 1).

todas as hipóteses imagináveis. A verdade de uma teoria física não se decide no cara ou coroa” (Duhem, 1984, p. 556).

Um teste empírico não é uma resolução definitiva. Não é possível confirmar ou refutar hipóteses ou teorias em separado; elas não comparecem ao tribunal da experiência isoladamente, mas sempre em conjunto (Freire Jr., 2013). Isto é, em cada teste não é só a teoria sob investigação que está envolvida, mas também todo um sistema de concepções e premissas teóricas. Quase sempre é possível remendar uma teoria com hipóteses auxiliares. Ademais, quando se testa uma hipótese, pode-se, também, salvar outra através da revisão de alguma hipótese auxiliar conectada ao método de testagem (Hacking, 2012).

“Entre dois teoremas de Geometria contraditórios entre si, não há lugar para uma terceira alternativa. Se um é falso, o outro é necessariamente verdadeiro. Duas hipóteses físicas formam, alguma vez, um dilema tão rigoroso? Ousaríamos dizer que jamais uma outra hipótese poderá ser imaginada?” (Duhem, 2014, p. 231).

Consequentemente, Duhem afirmou não ser possível a existência de experimentos cruciais na ciência (Cassini, 2015). Novas “descobertas” e interpretações podem sempre ser formuladas, à luz de distintas concepções teóricas. Desta forma, reconhece-se o caráter conjectural dos resultados produzidos em uma pesquisa. Cabe ressaltar, no entanto, que Bacon não buscava, com a instância crucial, uma prova ou explicação incontroversa e indubitável, afinal, sempre é possível ter-se uma instância contraditória. Ou, ainda, pode-se tomar a estrada errada e, desta forma, ser necessário voltar-se novamente às sinalizações e tomar um outro caminho (Hacking, 2012).

Em dessemelhança à Duhem, o filósofo Popper considerou os experimentos cruciais fundamentais no processo avaliativo das teorias científicas. Eles serviriam, não simplesmente para corroborar teorias, admitindo-as como válidas, mas para testá-las a fim de comprovar sua qualidade (Rufatto & Carneiro, 2009). Popper afirmou:

“Procuramos escolher para nossos testes os casos cruciais (...) no sentido baconiano; indicam encruzilhadas entre teorias. “Mas, enquanto Bacon acreditava que uma experiência crucial poderia demonstrar ou verificar uma teoria, diremos que ela pode na melhor das hipóteses refutá-la” (Popper, 1982, p. 139).

Com efeito, ele definiu o experimento crucial como algo que *“é projetado para refutar uma teoria (se possível) e mais especialmente um [experimento] que é concebido para produzir uma decisão entre duas teorias concorrentes, refutando (ao menos) uma delas – sem, é claro, provar a outra” (Popper, 1959, p. 277).*

Cabe ressaltar que Bacon admitiu a função de refutação da instância crucial, como visto em alguns de seus exemplos. Ele reconheceu que resultados negativos são mais poderosos que os positivos (Oliva, 2007). Popper, no entanto, parece não ter identificado isto na obra do filósofo.

De qualquer forma, Popper tem compreensão das críticas de se atribuir a um experimento crucial a característica de ser decisivo para a refutação de uma teoria. Afinal, a história da ciência evidencia que isso não é compatível com o que, de fato, ocorre na escolha teórica. *“Poder-se-ia objetar a concepção desenvolvida aqui – de acordo com Duhem – que em cada teste não é só a teoria sob investigação que está envolvida, mas também todo o sistema de nossas teorias e premissas” (Popper, 1982, p. 139).* Nesse sentido, Popper relativizou a questão da falsificação. Passou a conferir caráter empírico aos enunciados básicos (não somente a “sistemas” teóricos), sujeitando-os ao teste crucial. *“Assim, a falseabilidade de teorias, o eixo central de sua epistemologia, em termos metodológicos, deveria ser operacionalizado pela busca da falsificação de enunciados singulares” (Peres, 2002, p. 17).*

“De fato, só pelas tentativas de refutação pode a ciência ter esperança no progresso. Só pelo exame de como suas várias teorias respondem à experimentação podemos distinguir entre as teorias melhores e as menos boas, e encontrar um critério de progresso científico” (Popper, 1982, p. 141).

Efetivamente, Popper identificou o desenvolvimento do conhecimento científico como algo enérgico, onde persiste (e deve persistir) uma dinâmica permanente de testes cruciais, já que uma verdade absoluta não pode ser alcançada (Peres, 2002).

Lakatos, físico, matemático e filósofo, discordou de Popper, Duhem e, também, divergiu da concepção baconiana. Para ele, o mito de um experimento crucial, que refuta definitivamente uma teoria, deveria ser abandonado. *“As ‘experiências cruciais’ no sentido de Popper não existem: no melhor dos casos elas são*

títulos honoríficos atribuídos a certas anomalias muito tempo depois do acontecimento, quando um programa¹⁶ foi derrotado por outro” (Lakatos, 1978, p. 163, grifo original).

Em seus escritos, Lakatos tece críticas pontuais à concepção de Popper¹⁷. Enquanto que, para Lakatos, o adjetivo “crucial” poderia ser empregado ao experimento que tivesse a capacidade de prever fatos novos e desconhecidos, para Popper ele estaria pautado em anomalias (Nickels, 1999). Contudo, “nenhuma dessas anomalias, chamadas de ‘experimentos cruciais’ ou não, são objetivamente cruciais” (Lakatos, 1987, p. 285). Estritamente elas podem ter, no máximo, um efeito ocioso sobre a imaginação e a determinação dos estudiosos (Lakatos, 1987). Conforme ele explicitou, diferindo novamente de uma visão mais simplista da filosofia popperiana, nenhum enunciado básico é capaz de rejeitar uma teoria. “Nenhum experimento isolado pode desempenhar um papel decisivo, muito menos ‘crucial’, para fazer inclinar a balança entre programas rivais de investigação” (Lakatos, 1987, p. 284-285). Neste sentido, só pode haver o abandono de uma série de teorias interligadas, e não de uma teoria individual. Não se aprende, aceitando ou rejeitando uma única teoria, mas comparando um programa de pesquisa com o outro, para o progresso teórico, empírico e heurístico (Lakatos, 1974).

A concepção de Popper de conjecturas e refutações deveria, na perspectiva lakatosiana, ser abandonada. Afinal, sempre é possível progressivamente defender uma teoria durante um prolongado tempo. Assim, um experimento que contradiz um programa de pesquisa é visto, somente, como um desafio dentro de uma “batalha”. Mas a disputa não está encerrada: a qualquer programa de pesquisa é lícito sofrer alguns insucessos. A ele cabe, no entanto, a reabilitação. Todavia, se mesmo assim o programa for derrotado, então “a guerra estará perdida e a experiência original será vista, retrospectivamente, como tendo sido ‘crucial’” (Lakatos, 1978, p. 195).

Em síntese, conforme o filósofo salientou:

“Não existem experiências cruciais, pelo menos não existem se por elas entenderem experiências capazes de derrubar instantaneamente um programa de pesquisa. Com efeito, quando um programa de pesquisa sofre uma derrota e é suplantado por outro, podemos – numa longa visão retrospectiva – chamar crucial a uma experiência se se verificar que ela proporcionou uma corroboração espetacular do programa vitorioso e o fracasso do programa derrotado (no sentido de que nunca foi ‘explicada progressivamente’ – ou, numa palavra, ‘explicada’ – pelo programa derrotado)” (Lakatos, 1979, p. 214).

Todavia, a noção de experimentos cruciais em retrospectiva é um posicionamento antagônico daquele apresentado por Bacon (Hacking, 2012).

As concepções de Duhem, Popper e Lakatos, que discordam entre si, também colidem com aquela discutida por Bacon. A noção baconiana dá margem ao caráter decisivo da instância crucial. Contudo, o que Bacon entende por “decisivo” pode não consentir, plenamente ao menos, com a ideia de destituição imediata e inequívoca de uma teoria. Como o filósofo ressaltou, sobretudo, as instâncias cruciais são elucidativas, fornecem luz em meio à sombra. Ainda assim, caberia ao investigador julgá-las.

De acordo com Cassini (2015), a caracterização dos experimentos cruciais pela filosofia da ciência dá margem, equivocadamente, a “confusão” entre experiências cruciais e decisivas. Como ele salientou, frequentemente, e Popper se inclui aqui, os experimentos cruciais são descritos como aqueles que permitem decidir ou tomar uma decisão entre teorias rivais; aceitando uma e rejeitando outra. No entanto, a falsificação ou refutação de uma teoria não significa que ela seja rejeitada por toda a comunidade. Nesse sentido, conforme o autor apontou, os experimentos decisivos poderiam ser aqueles que proporcionam indícios considerados suficientes e adequados para a aceitação ou a rejeição de uma teoria, e os cruciais aqueles que proporcionam evidência que permite contrastar duas ou mais teorias sem que isso implique, necessariamente, na aceitação/rejeição de alguma delas. Ao que parece, isso se assemelha com a

¹⁶ “Um programa de pesquisa constitui-se de um núcleo firme (conjunto de hipóteses ou teoria irrefutável por decisão dos cientistas), de uma heurística que instrui os cientistas a modificar o cinturão protetor (conjunto de hipóteses auxiliares e métodos observacionais) de modo a adequar o programa aos fatos” (Silveira, 1996, p. 219).

¹⁷ Lakatos distingue três Poppers: o falseacionista dogmático – um mito inventado; o falseacionista ingênuo; o falseacionista sofisticado. O autor defende que o verdadeiro Popper é uma junção de um falseacionista ingênuo com elementos de um sofisticado. Lakatos justifica isso afirmando que “o verdadeiro Popper nunca abandonou suas primeiras (ingênuas) regras de falseamento. Ele tem exigido, até o presente, que ‘se estabeleçam de antemão os critérios de refutação: urge que haja consenso em torno das situações observáveis, se realmente observadas, que significam que a teoria está refutada’. Ele ainda interpreta ‘falseamento’ como resultado de um duelo entre a teoria e a observação, sem que outra teoria melhor esteja necessariamente envolvida. O verdadeiro Popper nunca explicou circunstanciadamente o processo de apelação por cujo intermédio alguns ‘enunciados básicos aceitos’ podem ser eliminados” (Lakatos, 1979, p. 225).

concepção baconiana, que não admitia que os experimentos cruciais pudessem (e precisassem), *sempre*, dar fim à tarefa de interpretação do investigador. “*Mesmo sem serem muitas vezes efetivamente decisivos, o certo é que alguns experimentos, ou instâncias cruciais, são bastante esclarecedores, dirimindo dúvidas e apontando novos caminhos*” (Peduzzi, 2015, p. 100).

ENSINO DE CIÊNCIAS E EXPERIMENTOS CRUCIAIS: BARREIRAS A ENFRENTAR

Como se pôde ver, nas seções anteriores, o significado e a consideração da existência, ou não, de experimentos cruciais são relativos. Somente à luz de um referencial teórico é possível analisá-los ao longo da história da ciência. Os significados atribuídos ao termo diferem não só em crivos filosóficos, como na própria concepção dos estudiosos. Não é necessariamente verdade que Boyle ou Hooke, por exemplo, estavam utilizando a locução “experimento crucial” com o mesmo entendimento de Bacon, “*embora seja mais do que provável que eles pensavam que estavam*” (Dumitri, 2004, p. 46).

Por certo, como salienta Lakatos, “*nenhuma experiência é crucial na altura em que é realizada (exceto talvez psicologicamente)*” (1978, p. 164). Isso implica que, onde alguns “cientistas” veem um experimento definidor e incontestável, outros podem não ver. Ademais, um experimento, por si mesmo, não é capaz de decidir, incontestavelmente, entre teorias; todo o contexto da descoberta, e não apenas o da justificação, precisa ser apreciado. “*As escolhas que os cientistas fazem entre teorias rivais dependem não apenas de critérios compartilhados (...), mas também de fatores idiossincráticos relacionados à biografia e à personalidade individual*” (Kuhn, 2011, p. 349).

Essas considerações essenciais acerca de experimentos cruciais parecem inexistir no ensino de ciências. Como já apontava Hodson (1988), o ensino admite quase que tácita e acriticamente que os experimentos cruciais existem e podem estabelecer a “verdade” científica. É comum a ideia de que uma hipótese é aceita e, por consequência, outra é rejeitada, com base nos dados de um único experimento. Este é um pressuposto que realça a ideia de que evidências empíricas independentes de corpos teóricos de conhecimento existem. Todavia, os dados isoladamente não podem decidir ou gerar teorias. A experimentação é um processo complexo, contextual e dinâmico.

Como ressaltam Cupani e Pietrocola (2002), em análises de livros didáticos é fácil identificar visões limitadas da experimentação, como o mito do observador neutro, do experimento crucial, da verdade absoluta das teorias. Nesse sentido, muitos estudantes acabam atribuindo ao experimento crucial o papel de validar uma teoria (Silva, 2010). Cabe ressaltar, no entanto, que os livros estão buscando aprimorar a visão de ciência apresentada, ao menos as que são explícitas. O Guia do Livro Didático (PNLD, 2015) de física, tomou como um dos critérios de avaliação o pressuposto de que os livros trouxessem “*uma visão de experimentação afinada com uma perspectiva investigativa, mediante a qual os jovens são levados a pensar a ciência como um campo de construção de conhecimento, onde se articulam, permanentemente, teoria e observação, pensamento e linguagem*” (Brasil, 2014, p. 16).

Não obstante, além de livros didáticos, o ensino está cada vez mais fazendo uso de programas televisivos, como filmes, séries e documentários. Mas eles também requerem cuidados historiográficos, uma vez que podem reforçar o mito do experimento crucial. Schmiedecke e Porto (2015), ao analisarem alguns episódios de materiais desse gênero, constataram características que intensificam concepções limitadas da experimentação e da própria ciência, como a ideia de experimentos cruciais, de cientistas “gênios” e do desenvolvimento sempre linear e acumulativo da ciência.

Assim, pode ser fecundo para um ensino que visa romper com a estereotipação da experimentação, discorrer sobre os experimentos cruciais em uma perspectiva histórico-filosófica. A retomada de sua gênese, com Bacon, torna-se um caminho profícuo para isso. A relatividade de significados do termo, na história, evidencia que a ciência, sua análise e desenvolvimento não são algo estático, mas enérgico que, como o mar, às vezes se debruça em ondas de harmonia, por vezes em um maremoto de desconcertos. A ambiguidade existente na análise da importância e relevância de dados empíricos é algo a ser refletido também no ensino de ciências.

“O papel crítico dos experimentos é um aspecto importante da ciência, mas as teorias somente são abandonadas quando existem evidências que obrigam a isso (que persistem por longo tempo e atingem o cerne fundamental da teoria) e/ou quando uma teoria alternativa e mais promissora se torna disponível. É enganoso apresentar aos alunos a ideia de que as teorias são abandonadas por causa de alguns “resultados negativos”. Na prática, todas as teorias têm que conviver com

resultados anômalos; isto é uma característica natural da ciência. Enganamos os alunos quando fingimos que os tipos de experimentos que eles desenvolvem em classe constituem meios seguros de escolher entre teorias rivais” (Hodson, 1988, p. 55-56).

Como salienta Steinle (2002), é possível apontar na filosofia baconiana, não deixando de reconhecer sua limitação diante de novas posturas epistemológicas, distintas funções epistêmicas da experimentação, incluindo sua noção de experimentos ‘cruciais’.

O estudo de controvérsias científicas também é uma das possibilidades para a inserção dessa temática. A análise do contexto da descoberta, da gênese e do desenvolvimento de uma controvérsia, e não apenas o seu contexto da justificativa, evidencia que distintas teorias podem ser originadas por meio de uma mesma experiência (Kipnis, 2001). Ademais, a relevância de determinado experimento, para os estudiosos e para a própria ciência de uma determinada época e contexto, irá depender de diferentes perspectivas filosóficas, subjetivas, sociais, culturais.

Geralmente, em diferentes meios que divulgam a ciência e até mesmo na sala de aula, considera-se que o papel dos dados experimentais é crucial para a aceitação ou rejeição de uma teoria (Niaz, 2010). Aliás, o tipo mais primitivo de racionalismo propôs que as controvérsias deveriam ser resolvidas por meio de experimentos cruciais (Kitcher, 2000). Contudo, isso está longe de ocorrer, sobretudo, porque, como ressalta Kuhn, as decisões fundamentais dos estudiosos são justificadas no sentido das escolhas feitas de acordo com valores específicos dos sujeitos ou de uma comunidade, no âmbito do paradigma no qual aderem. Ou seja,

“alguns cientistas valorizam mais do que outros a originalidade, e por isso são mais propensos a assumir riscos. Alguns preferem teorias mais abrangentes e unificadas a soluções exatas e detalhadas dos problemas, mas de abrangência aparentemente menor (...) toda escolha individual entre teorias rivais depende de uma mescla de fatores objetivos e subjetivos, ou de critérios compartilhados e individuais” (Kuhn, 2011, p. 344-345).

Na perspectiva kuhniana, quando em um embate científico, os estudiosos lidam com argumentos teóricos e experimentais pertencentes a paradigmas distintos; que competem pela preferência dos membros da comunidade. Isto é, paradigmas rivais oferecem lentes conceituais diferentes, não são e não podem ser compatíveis. Há, a princípio, apenas uma comunicação parcial entre eles.

“Admitindo-se teoricamente a incomensurabilidade dos paradigmas, ou seja, a falta de uma medida comum entre eles, então os experimentos (ditos) cruciais, para a escolha paradigmática, não seriam logicamente possíveis. A ‘comunicação’, ou ‘tradução’, embora difícil, existe, como mostra a praxis científica. Mesmo assim, o uso do termo ‘experimento crucial’, como uma instância inapelavelmente decisiva, particularmente quando se leva em conta o fator tempo, precisa ser bem ponderado, e justificado, para não ser abatido pela crítica contundente dos que a ele se opõem” (Peduzzi & Raicik, 2017, p. 36-37).

Atrelada à noção dos experimentos cruciais distintas concepções relativas à Natureza da Ciência (Peduzzi & Raicik, 2017) podem ser discutidas e levadas à reflexão dos alunos, como a ideia de que não há observações neutras, que os dados, *per se*, não geram teorias, que a ciência é influenciada por perspectivas culturais, sociais, contextuais, filosóficas, religiosas, que a experimentação é parte integrante e essencial do processo de construção do conhecimento, que envolve o diálogo entre as expectativas e convicções teóricas do investigador e as observações que ele realiza, etc. Essas reflexões tendem apenas a melhorar a visão de ciência que se espera e almeja que um aluno tenha para compreender esse vasto, rico e complexo campo de conhecimento.

Um resgate da noção de *instantia crucis* de Bacon permite que se contextualize, no ensino de ciências, as distintas compreensões de um experimento crucial e romper com a visão estereotipada de que uma “verdade” pode ser alcançada, um debate pode ser resolvido, um consenso atingido por meio de um experimento desse tipo. Além disso, essa discussão, inevitavelmente, propicia reflexões acerca do papel dos experimentos no desenvolvimento científico e sua dependência com o contexto em que se insere; histórico, cultural, epistemológico. Por fim, apesar de Bacon instituir uma concepção duramente empírico-indutivista, ele permitiu que a experimentação tivesse o seu lugar de destaque na ciência (Raicik & Peduzzi, 2016).

REFERÊNCIAS

- Amaro, A. J. G. (2009). *A crítica de Pierre Duhem ao experimento crucial*. (Dissertação de Mestrado, Universidade São Judas Tadeu), São Paulo. Recuperado de https://www.usjt.br/biblioteca/mono_disser/mono_diss/114.pdf
- Andrade, J. A. (1979). Tradução e notas. In Bacon, F. *Novum Organum ou verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza; Nova Atlântica*. São Paulo: Abril Cultural.
- Arteaga, E. G. G. (2011). *Las prácticas experimentales en los textos y su influencia en el aprendizaje: Aporte Histórico y filosófico en la física de campos*. (Tese de doutorado, Universidade Autônoma de Barcelona), Barcelona.
- Assis, A. T. (2002). *Óptica: tradução, introdução e notas*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- Bacon, F. (1882). Of the dignity and advancement of learning, books IV-IX. In Spedding, J., Ellis, R. L., & Heath, D. D. (Ed.). *The Works of Francis Bacon* (13-345). Boston: Houghton, Mifflin and Company.
- Bacon, F. (1979). *Novum Organum ou verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza; Nova Atlântica*. São Paulo: Abril Cultural.
- Boyle, R. (1662). *A defence of the doctrine touching the spring and weight of the air*. London: Printed by F.G. for Thomas Robinson.
- Brasil (2014). *Guia de livros didáticos: PNLD 2015; física: ensino médio*. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica.
- Carrilho, M. M. (1994). *A filosofia das ciências de Bacon a Feyerabend*. Lisboa: Editorial Presença.
- Carmo, L. A., Medeiros, A., & Medeiros, C. F. (2000). Distorções conceituais em imagens de livros textos: o caso do experimento de Joule com o calorímetro de pás. In *Atas do VII Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física*. Florianópolis, SC, Brasil. Recuperado de https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/AlexMed/Exp_Joule.pdf
- Cassini, A. (2015). Una reivindicación de los experimentos cruciales. *Revista de Filosofía*, 40(1), 105-137. Recuperado de <http://revistas.ucm.es/index.php/RESF/article/view/48442/45285>
- Cohen, I. B., & Westfall, R. S. (2002). *Newton: textos, antecedentes, comentários*. Rio de Janeiro: Contraponto EDUERJ.
- Cupani, A., & Pietrocola, M. (2002). A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19(número especial), 100-125. DOI:10.5007/%25x
- Duhem, P. (2014). *A teoria física: seu objeto e sua estrutura*. Rio de Janeiro: EdUERJ.
- Duhem, P. (1984). Teoria física y experimento. *Teorema*, 14(3), 547- 582. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2043808.pdf>
- Dumitru, C. (2013). Crucial Instances and Crucial Experiments in Bacon, Boyle, and Hooke. *Society and Politics*, 7(1), 45-61. Recuperado de <http://socpol.uvvg.ro/docs/2013-1/3.%20Claudia%20Dumitru.pdf>
- Franklin, A. (1986). *The neglect of experiment*. New York: Cambridge University Press.
- Galvão, M. S., Santos, L. A., & Barbosa, J. P. C. (2016). Demonstrações por redução ao absurdo no volume I do Elementos e Euclides. Educação Matemática na Contemporaneidade: desafios e possibilidades. In *Atas do ENEM*. São Paulo, SP, Brasil. Recuperado de http://www.sbem.com.br/enem2016/anais/pdf/7002_3030_ID.pdf
- Georgescu, L. (2011). A new form of knowledge: Experientia Literata. *Society and Politic*, 5(2), 104-120. Recuperado de http://journaldatabase.info/articles/new_form_knowledge_experientia.html
- Georgescu, L., & Giurgea, M. (2012). Redefining the Role of Experiment in Bacon's Natural History: How Baconian was Descartes before Emerging from His Cocoon? *Early Science and Medicine*, 17(1-2), 158-180. DOI:10.1163/157338212X631828

- Gigliani, G. (2013). Learning to Read Nature: Francis Bacon's Notion of Experiential Literacy {Experientia Literata} *Early Science and Medicine*, 18(4-5), 405-434. [DOI:10.1163/15733823-1845P0005](https://doi.org/10.1163/15733823-1845P0005)
- Gooding, D. C. (2000). Experiment. In Newton-Smith, W.H. (Ed.). *A companion to the philosophy of science* (pp. 117-126). USA: Blackwell Companions to Philosophy.
- Granés, J. S. (2001). *La gramática de una controversia científica: El debate alrededor de la teoría de Newton sobre los colores de la luz*. Colombia: Editorial Unibiblos.
- Granés, J. S. (2005). *Isaac Newton: Obra y Contexto una Introducción*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.
- Hacking, I. (1988). Philosophers of Experiment. *PSA: The Philosophy of Science Association*, 2(1988), 147-156. [DOI:10.1086/psaprocbienmeetp.1988.2.192879](https://doi.org/10.1086/psaprocbienmeetp.1988.2.192879)
- Hacking, I. (2012). *Representar e Intervir: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural*. Rio de Janeiro: EdUERJ.
- Hodson, D. (1988). Experiments in science and science teaching. *Educational Philosophy and Theory*, 20(2), 53-66. [DOI:10.1111/j.1469-5812.1988.tb00144.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-5812.1988.tb00144.x)
- Hooke, R. (1665). *Micrographia: or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses*. London: J. Martyn and J. Allestry.
- Horton, M. (1973). In defence of Francis Bacon: a criticism of the critics of the inductive method. *Stud. Hist. Phil. Sci.*, 4(3), 241- 278. [DOI:10.1016/0039-3681\(73\)90010-1](https://doi.org/10.1016/0039-3681(73)90010-1)
- Jalobeanu, D. (2011). Core experiments, natural histories and the art of experientia literata: the meaning of baconian experimentation. *Society and Politics*, 5(2), 88-103. Recuperado de http://socpol.uvvg.ro/index.php?option=com_content&view=article&id=82&Itemid=94
- Jalobeanu, D. (2013). Learning from experiment: classification, Concept formation and modeling in Francis Bacon's experimental philosophy. *Rev. Roum. Philosophie*, 57(2), 75–93. Recuperado de <http://philsci-archive.pitt.edu/10882/>
- Jalobeanu, D. (2016). Diciplying Experience: Francis Bacon's experimental series and the art of experimenting. *Perspectives on Science*, 24(3), 324-342. [DOI:10.1162/POSC_a_00209](https://doi.org/10.1162/POSC_a_00209)
- Kipnis, N. (2001). Scientific controversies in teaching science: the case of Volta. *Science & Education*, 10, 33-49, 2001. [DOI:10.1023/A%3A1008760521211](https://doi.org/10.1023/A%3A1008760521211)
- Kitcher, P. (2000). Patterns of scientific controversies. In Machamer, P. Peram M., & Baltas, A. (Ed.). *Scientific Controversies: Philosophical and Historical Perspectives* (pp. 3-17). New York: Oxford University Press.
- Kuhn, T. S. (2011). *A tensão essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica*. São Paulo: Unesp.
- Lakatos, I. (1987). *Matemáticas, ciencia y epistemología*. Madrid: Alianza Editorial.
- Lakatos, I. (1979). O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. In Lakatos, I., & Musgrave, A. (Ed.). *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento* (pp. 109-243). São Paulo: Editora Cultrix.
- Lakatos, I. (1978). *Falsificação e metodologia dos programas de investigação científica*. Portugal: Edições 70.
- Lakatos, I. (1974). The role of crucial experiments in science. *Studies in History and Philosophy of Science*, 4(4), 344-355. [DOI:10.1016/0039-3681\(74\)90007-7](https://doi.org/10.1016/0039-3681(74)90007-7)
- Levinas, M. L., & Carretero, M. (2010). Conceptual Change, Crucial Experiments and Auxilliary Hypotheses. *Integr Psych Behav*, 44(4), 288-298. [DOI:10.1007/s12124-010-9139-2](https://doi.org/10.1007/s12124-010-9139-2)

- 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. Societyⁿ, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 6(80), 3075-3087. Recuperado de <http://www.newtonproject.ox.ac.uk/view/texts/normalized/NATP00006>
- Newton, I. (2002). *Óptica*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- Niaz, M. (2010). Science curriculum and teacher education: The role of presuppositions, contradictions, controversies and speculations vs Kuhn's 'normal Science'. *Teaching and Teacher Education*, 26(4), 891-899. DOI:10.1016/j.tate.2009.10.028
- Nickels, U. T. (1999). Ciencia y Pseudociencia en Lakatos: La falsación del falsacionismo y la problemática de la demarcación. *Cinta Moebio*, 5, 51-60. Recuperado de <http://www.cintademoebio.uchile.cl/index.php/CDM/article/viewFile/26441/27734>
- Oliva, A. (2007). Há falibilismo em Bacon e Popper não reconhece isso. *Manuscrito – Rev. Int. Fil.*, 30(1) 135-184. Recuperado de <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/manuscrito/article/view/8643514/11015>
- Freire Jr., O. (2013). Filosofia da ciência e controvérsia científica: um leque de concepções físicas e interpretações filosóficas da física quântica. *Scientiae Studia*, 11(4), 959-962. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/ss/v11n4/v11n4a11.pdf>
- Oliveira, B. J. (2010). *Francis Bacon e a fundamentação da ciência como tecnologia*. Belo Horizonte: Editora UFMG.
- Paixão, M. F. C. S (2003). *História e Filosofia da Ciência: Construir uma Nova Imagem da Ciência na Formação de Professores*. Castelo Branco: Instituto Politécnico de Castelo Branco.
- Peduzzi, L. O. Q. (2015). *A relatividade einsteiniana: uma abordagem conceitual e epistemológica*. Florianópolis: publicação interna. Recuperado de http://media.wix.com/ugd/7d71af_5d8925828479433eb694a14a8f294449.pdf
- Peduzzi, L. O., & Raicik, A. C. (2017). *Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Recuperado de www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br
- Peres, P. S. (2002). Epistemologia sem sujeito: a filosofia da ciência proposta por Karl Popper. Universidade de São Paulo. Recuperado de <https://works.bepress.com/pauloperes/13/>
- Popper, K. R. (1959). *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo: Editora Cultrix.
- Popper, K. R. (1982). *Conjecturas e Refutações*. Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- 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. Recuperado de www.sbh.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=1991
- Raicik, A. C. (2015). *Experimentos exploratórios: os contextos da descoberta e da justificativa nos trabalhos de Gray e Du Fay*. (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina), Florianópolis. Recuperado de <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/134938>
- Raicik, A. C., & Peduzzi, L. O. Q. (2016). Experimentos exploratórios e novos caminhos para reflexões epistemológicas da experimentação: revisitando considerações baconianas. In *Atas do 15º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia*. Florianópolis, SC, Brasil. Recuperado de http://www.15snhct.sbh.org.br/resources/anais/12/1473603574_ARQUIVO_artigo15snhc,2016.pdf
- Raicik, A. C., Peduzzi, L. O. Q., & Angotti, J. A. P. (2017). Francis Bacon e a chama apagada na ciência: a experientia literata. In *Atas do XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Florianópolis, SC, Brasil. Recuperado de <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R0915-1.pdf>

- Reichenbach, H. (1938). *Experience and Prediction: An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*. Chicago: University of Chicago Press.
- Ribeiro, J. F. P. (2005). *Domina Aeris ou qual é mais ilustre se a leveza ou a gravidade* (Dissertação de Mestrado, Universidade São Judas Tadeu), São Paulo. Recuperado de http://www.usjt.br/biblioteca/mono_disser/mono_diss/025.pdf
- Rufatto, C. A., & Carneiro, M. C. (2009). A concepção de ciência de Popper e o ensino de ciências. *Ciência & Educação*, 15(2), 269-89. DOI:10.1590/S1516-73132009000200003
- Sargent, R. M. (1989). Scientific Experiment and Legal Expertise: The Way of Experience In Seventeenth-Century England. *Studies in History and Philosophy of Science*, 20(1), 19-45. DOI:10.1016/0039-3681(89)90032-0
- Schmiedecke, W. G., & Porto, P. A. (2015). A história da ciência e a divulgação científica na TV: subsídios teóricos para uma abordagem crítica dessa aproximação no ensino de ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 15(2), 627-643. Recuperado de <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/viewFile/2536/1937>
- Silva, B. V. C. (2010). A Natureza da Ciência pelos alunos do ensino médio: um estudo exploratório. *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, 4(3), 670-677. Recuperado de http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/fisica/artigos/Natureza_da_ciencia_boniek.pdf
- Silva, F. M. S. (2008). Sobre a indução em Francis Bacon. *Revista Urutáguia: revista acadêmica interdisciplinar*, (14), 1-17. Recuperado de http://www.urutagua.uem.br/014/14silva_fernando.html
- Silva, C. C., & Martins, R. A. (1996). A Nova teoria sobre luz e cores de Isaac Newton: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 18(4), 313-27. Recuperado de <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v18a33.pdf>
- Silveira, F. L. (1996). A metodologia dos programas de pesquisa: a epistemologia de Imre Lakatos. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 13(3), 219-230. DOI:10.5007/%25x
- Steinle, F. (2002). Experiments in History and Philosophy of Science. *Perspectives on Science*, 10(4), 408-432. DOI:10.1162/106361402322288048
- Weeks, S. (2008). The role of mechanics in Francis Bacon's great instauration. In Zittel, C., et al (Eds.). *Philosophies of technology: Francis Bacon and his contemporaries* (pp. 133-196). Leiden-Boston: Brill.
- Westfall, R. S. (1962). The Development of Newton's Theory of Color. *Isis*, 53(3), 339-358. DOI:10.1086/349596
- Zempler, G. A., & Demeter, T. (2010). Being Charitable to Scientific Controversies. *The Monist*, 93(4), 640-656. DOI:10.5840/monist201093436

Recebido em: 24.03.2017

Aceito em: 06.11.2017