Epistemologia dos experimentos mentais, argumentação e explicações científicas no ensino de Física e de Ciências

Ricardo Rangel Guimarães*

Resumo

Este trabalho tem como objetivo discutir a Epistemologia dos Experimentos Mentais (EM), a sua importância na História da Ciência e relevância metodológica para a aprendizagem de conceitos no Ensino de Física. Pretende-se defender que EM podem ser utilizados como argumentos na educação científica, no sentido de serem explicativos e informativos, possibilitando ao aluno uma melhor compreensão de conceitos científicos. Existem autores muito importantes na discussão sobre os usos do argumento e da argumentação no ensino, que desenvolveram trabalhos analisando a natureza e relevância dos EM na ciência, bem como outros debates e discussões da Epistemologia e da Filosofia da Ciência que trataram da noção clássica de explicação científica e da natureza do conhecimento científico. Também será discutida a utilização não apenas dos argumentos dedutivos na História da Ciência via EM, como na análise crítica da clássica demonstração da queda dos corpos de Galileu, por exemplo, dentre outros casos na História da Ciência, mas também outros exemplos históricos, onde argumentos indutivos-abdutivos como inferências a melhor explicação (IME) podem ser um interessante recurso heurístico para fornecer explicações científicas. O que se pretende minimamente mostrar, ao final, é que a utilização dos EM como argumentos na educação científica, através do recurso didático da argumentação, sejam eles indutivos como a IME ou dedutivos, pode trazer contribuições significativas para a aprendizagem em ciências, através de uma análise crítica dos mesmos por parte dos alunos, procurando com isso fomentar nos estudantes pensamento crítico e entendimento, em que estes possam oferecer explicações racionais para os fenômenos científicos.

Palavras-chave: Epistemologia; Experimentos Mentais; Ensino de Física; Argumentação; Educação Científica.

Doutor e Mestre em Filosofia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). Bacharel e Licenciado em Filosofia e Licenciado em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Bolsista de Pós-Doutorado (PNPD/CAPES) do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPG EnFis - IF/UFRGS) E-mail: ricardo.rangel@ufrgs.br/rirangel@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7464-9641

https://doi.org/10.5335/rbecm.v4i3.12909 http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0

ISSN: 2595-7376



Introdução

A função do experimento e da experimentação nas ciências naturais, de forma bastante geral e resumida, é algo bastante importante e fundamental na atividade da prática científica, ao se tratar de ciências essencialmente empíricas: cientistas e pesquisadores destas áreas costumam realizar medidas e testes em laboratórios, no seu cotidiano dentro da comunidade acadêmica, e este expediente metodológico é fundamental para o avanço e o progresso da ciência e da produção do conhecimento científico, naquilo que Thomas Kuhn, por exemplo, denominou de "ciência normal", conceito de extrema importância no cerne da sua Filosofia da Ciência (KUHN, 1962). No decurso da História da Ciência, desde quando a Filosofia e o pensamento científico dissociaram-se como áreas de estudo e de investigação separadas, mas não necessariamente independentes, no período pós-renascentista/moderno (a questão, na verdade, é muito mais intrincada e complexa do que esta suposta visão simplista e reducionista, e que não corresponde totalmente à realidade, mas esse é um tópico que não iremos tratar e explorar aqui), a importância da observação da natureza e do conhecimento sistematizado a partir da empiria e de um "método" científico baseado na experimentação pura passou a predominar não apenas na prática científica, mas também na Filosofia da Ciência e na produção do conhecimento científico da modernidade em diante, especialmente com os estudos de Galileu e os seus supostos experimentos, como, por exemplo, o da Torre de Pisa sobre o movimento dos corpos. A despeito do quanto e de quando este processo efetivamente iniciou-se, o que não pode ser localizado com exatidão no tempo e através dos avanços da história do pensamento científico ocidental, dada a sua extrema complexidade enquanto fenômeno sócio-cultural e antropológico (afinal, quem produz ciência são pessoas, com seus sistemas de crenças e proposições de outras naturezas, algo muito difícil de ser mensurado quantitativamente), um ponto parece ser de extrema importância para os nossos propósitos no presente contexto, e que está longe de ser algo consensual, que é a controvérsia e a disputa que existe na história das idéias sobre isto, e do impacto tanto para a ciência contemporânea quanto para a educação científica derivada daí. O que é de certa forma endossado hoje em dia tanto pela comunidade científica de modo geral quanto pelos epistemólogos do conhecimento científico e filósofos e historiadores da ciência é que o assim chamado método empirista-indutivista não é infalível e não é a única metodologia utilizada na pesquisa científica,

sendo a própria ciência e a sua produção um fenômeno muito mais complexo e amplo do que a mera replicação de um método específico, algo como uma "receita de bolo", ou outras metodologias e análises reducionistas daí derivadas. Entretanto, isso não significa que a experimentação e a observação não tenham importância na prática científica, muito pelo contrário, aliás, pois boa parte da ciência é feita desta forma, inclusive com o exemplo já referido de Galileu, que será um dos objetos de estudo e análise em nosso trabalho, sendo exposto e tratado posteriormente (particularmente em relação à sua temática da queda dos corpos e da importância deste caso da História da Ciência para o Ensino de Física).

Diante deste breve estado da arte bastante resumido e superficial apresentado aqui, do qual muita investigação ulterior pode e deve ser feita, mas que não é o objetivo neste trabalho, cuja referência a esta temática e problemática é meramente ilustrativa, introduzimos aqui a questão do experimento mental e da sua importância heurística e didática para a investigação científica no ensino de ciências. O termo "Experimento Mental" (E.M.) (Gedanke Experiment, Thought Experiment) foi utilizado pela primeira vez pelo físico Ernest Mach em 1897 (o também físico Christian Oersted teria usado a mesma expressão com o mesmo sentido de Mach), e tem a sua origem histórica na Filosofia e na história do pensamento gregos, com Platão, Aristóteles e os filósofos pré-socráticos. Aristóteles, por exemplo, na sua obra intitulada Física, desenvolve uma descrição dos fenômenos naturais baseada em explicações teleológicas (a partir de conceitos como "fim natural" e "lugar natural") fundamentalmente construídas a partir de experimentos de pensamento: embora a teoria do conhecimento do filósofo estagirita fosse, em boa parte, baseada na experiência sensível, ela não se resumia a este caráter meramente e essencialmente experimental. O caráter dedutivo e demonstrativo da lógica aristotélica era aplicado pelo discípulo de Platão e precursor do método peripatético de investigação filosófica também na sua ciência da descrição dos fenômenos físicos da natureza, e muitos dos princípios da sua Física Aristóteles os estipulou e desenvolveu a partir de experimentos de pensamento, como a existência dos quatro elementos fundamentais (água, ar, fogo e terra) como formadores da realidade do que ele denominava de "mundo sublunar", a saber, o mundo físico e os seus movimentos, bem como do mundo "supralunar", formado pelo seu quinto elemento, o éter, que não era algo que pudesse ser medido e provado pela experiência sensível. Igualmente Platão e muitos filósofos pré-socráticos, com suas concepções dos mundos sensível e inteligível/das formas

perfeitas e dos elementos formadores da natureza, também fazia uso recorrente da experimentação de pensamento, postulando e imaginando situações hipotéticas e mesmo contra-factuais para as suas doutrinas de pensamento e sistemas de mundo.

No período da modernidade, quando a filosofia e a ciência, apesar da "pseudo--dissociação" referida anteriormente, passaram a atuar juntas na história do pensamento ocidental, através da obra de muitos filósofos e/ou cientistas clássicos, os experimentos mentais continuaram a ter um papel e uma função muito importante e relevante na construção do conhecimento científico, e é possível encontrar muitos destes expedientes lógico-metodológicos no pensamento de muitos pensadores deste período, além do já referido Galileu, como, por exemplo, Newton, Descartes, Kant, Hume, Leibniz e Spinoza, apenas para citar alguns casos. No caso do físico inglês criador da Mecânica Clássica e do Cálculo Diferencial e Integral, notoriamente temos os exemplos das leis de movimento e do balde de Newton, cuja elaboração envolveu determinados aspectos de experimentação mental: tanto em relação à lei da inércia quanto a da força e da ação e reação exigiu por parte de Newton um esforço intelectual na construção dos seus argumentos e posteriormente na elaboração das suas leis e situações imaginárias fundamentadas em alguma espécie de raciocínio hipotético-dedutivo e também através da inferência à melhor explicação (IME), uma forma de raciocínio bastante comum na ciência e de base indutiva. O balde de Newton é um experimento mental bastante interessante no qual o referido físico imaginou tal situação a fim de pretender provar a condição absoluta do espaço através do movimento relativo que tal artefato teria ao ser girado e colocado em movimento com uma quantidade de água dentro do mesmo: o formato que a água adquiriria com o tempo nesse movimento, observado por um referencial externo, provaria tal hipótese. Já em Descartes, racionalista clássico, os princípios da sua mecânica e também da sua ontologia, com os célebres exemplos dos argumentos céticos do sonho e do gênio maligno em suas "Meditações Metafísicas" são altamente ilustrativos neste aspecto, bem como também a base epistemológica do problema da indução no empirismo de David Hume, ao postular o hábito e os seus princípios da causalidade e da uniformidade da natureza, e a hipótese dos mundos possíveis leibnizianos são outros notáveis exemplos de argumentações baseadas em experimentação mental, algo do qual nos ocuparemos na seqüência a fim de darmos continuidade a nosso estudo, explorando um dos principais tópicos de interesse no presente trabalho, a saber, uma possível relação que experimentos mentais teriam com argumentos e

seu uso, e também explorando capacidades argumentativas derivadas daí para a utilização por professores em sala de aula desenvolvendo nos estudantes capacidades críticas e de reflexão a partir deste expediente, o qual passaremos a nos ocupar a partir da próxima seção.

A Epistemologia dos Experimentos Mentais e as suas potencialidades explicativas e argumentativas no Ensino de Física e de Ciências: um esboço geral e resumido

Uma análise mais acurada e detalhada sobre a natureza lógica e epistemológica dos E.M. na história da ciência faz-se pertinente e necessária neste trabalho a fim de contextualizar a pesquisa que está sendo desenvolvida no sentido de conectar e trazer este debate para a questão da argumentação e da função da explicação no ensino de ciências. De forma bastante geral, o recurso da experimentação mental ou experimento imaginário/de pensamento pode ser utilizado tanto na Filosofia quanto nas Ciências, sejam elas naturais e empíricas ou não (como no caso das ciências humanas ou formais, por exemplo), e o seu recurso geralmente é heurístico, seja dentro do processo da investigação científica e/ou como ferramenta didático-pedagógica para o ensino, que será o nosso objeto de atenção posteriormente. O filósofo John Norton defende uma abordagem e uma perspectiva de que os E.M. possuem uma estrutura essencialmente argumentativa, o que podemos identificar nesta seguinte passagem dele:

> Experimentos mentais são argumentos que: (i) postulam situações hipotéticas ou contra-factuais, e (ii) invocam detalhes irrelevantes para a generalidade da conclusão [...] os experimentos mentais em física fornecem ou pretendem fornecer informações sobre o mundo físico. Como eles são experimentos mentais e não físicos, essas informações não provêm do relato de novos dados empíricos. Portanto, existe apenas uma fonte não controversa da qual essa informação pode vir: ela é extraída de informações que já temos por um argumento identificável, embora esse argumento possa não ser apresentado em detalhes na declaração do experimento mental. A alternativa a essa visão é supor que os experimentos mentais forneçam uma rota nova e até misteriosa para o conhecimento do mundo físico (NORTON, 1991, p. 129).¹

E interessante perceber que na perspectiva epistemológica de Norton, não é possível derivar conhecimentos novos a partir de um E.M. puramente pensado e imaginado: como um empirista acerca das origens do conhecimento, em Norton o conhecimento é adquirido integralmente na experiência sensível, e a função do E.M. é puramente lógica e argumentativa, ou seja, E.M. não revelariam nada de novo sobre o mundo, mas tem poder explicativo disfarçado na forma de um argumento dedutivo que possua premissas e conclusões, por isso esta menção sobre sua heurística referida anteriormente, ele serve para fornecer uma explicação razoável de algum fenômeno não reprodutível em laboratório e funciona como uma espécie de guia para auxiliar o entendimento dos princípios e conceitos científicos que estão sendo utilizados dentro da sua estrutura de raciocínio. A despeito do que Norton entenda propriamente por "argumento", o que não será nosso objeto de análise aqui, haja vista se perder o foco e a direção do presente trabalho (seria necessário outro artigo para proceder esta análise mais acurada e realizar esta importante distinção), grosso modo se entenderá neste contexto um argumento como um conjunto de premissas e conclusões na forma de proposições verdadeiras que possuam uma função explicativa dentro do domínio das explicações científicas que tenham uma natureza dialética na sua estrutura lógica, e que possam ser dedutivas ou indutivas estas explicações/ argumentos em questão. A IME à qual foi feita menção anteriormente se encaixaria aqui neste contexto como um argumento/raciocínio indutivo, em um princípio indutivo de buscar a "melhor explicação" para um determinado fenômeno de acordo com as evidências disponíveis: boa parte do conhecimento científico é construído através de raciocínios que probabilizam a conclusão em função das evidências disponíveis como premissas nesta estrutura argumentativa. Voltaremos a falar desta forma de argumento na última seção, sobre os recursos didático-pedagógicos dos E.M., com exemplos na ciência onde este tipo de raciocínio é utilizado como expediente metodológico. Em suma, para Norton, resumindo bastante a sua concepção exposta anteriormente, "um bom experimento mental é um bom argumento; um experimento mental ruim é um argumento ruim" (NORTON, 1991, p. 131), e "se eles falham, o fazem por uma razão identificável" (NORTON, 2004b, p. 51-52)².

Já para John Brown, outro filósofo que se ocupou em dar um tratamento epistemológico e lógico para a natureza dos E.M., e cuja concepção na literatura sobre o tema muitas vezes contrapõem-se e também se complementa com a visão de Norton, dependendo do tipo de abordagem a ser adotada, um E.M. pode ser legítimo desde que não viole as leis da natureza (BROWN,1991), e estes podem ser construtivos ou destrutivos, dependendo da sua força e do seu poder exploratório: para Brown, um E.M. pode ou confirmar o resultado de alguma teoria ou hipótese científica confirmada nesse "laboratório da mente", e seria "construtivo" nesse sentido, ou refutar algum resultado teórico e com isso ter esse caráter "destrutivo" referido anteriormente. Nessa linha do E.M. construtivo de Brown, a autora T.S. Gendler analisa o caso da queda dos corpos de Galileu, que será o objeto da próxima seção, no seu artigo Galileo and the Indispensability of Scientific Thought Experiment (GENDLER, 1998), onde ela defende uma perspectiva de que a conclusão do E.M. realizado em pensamento seria o caso se tal experimento pudesse ser realizado empiricamente, e sua validade epistemológica justificar-se-ia por tal expediente lógico: quando realizarmos e procedermos pela análise lógica do argumento, o que faremos na próxima seção, esperamos que isto fique mais claro na seqüência do estudo. A idéia envolvida aqui é a de que um novo conhecimento pode ser gerado na sistematização do E.M. em questão, e por isso, mais uma vez, justifica-se propriamente uma epistemologia dos E.M., pois nesta perspectiva descobertas podem ser realizadas, a utilização do expediente do E.M. é mais ampla do que a mera organização do conhecimento e das informações, ela visa a obtenção de aprendizado e conhecimento novo nesse processo todo de construção e elaboração mental do E.M. Este ponto sobre partir de uma noção de ignorância para adquirir um novo conhecimento é destacado também por R. Cooper (2005), que salienta que uma distinção entre o uso de E.M.s no âmbito da Filosofia e nas ciências de um modo geral não é algo tão importante e relevante assim, pois ambas as áreas fazem uso deste expediente de forma bastante semelhante, e isto não diz respeito apenas à natureza de ambos processos investigativos, que podem se dar em domínios análogos de investigação, mas também em uma concepção de construção de conhecimento científico e filosófico que é dada por uma relação entre teoria e experimento, como no exemplo de Galileu, por exemplo, onde o E.M. em questão não dispensa a realização do experimento para testar a hipótese galileana da queda dos corpos em detrimento da física aristotélica, mas também requer uma rigorosa demonstração lógico-argumentativa a fim de oferecer todos os passos do raciocínio dedutivo a que Galileu chegou/teria chegado utilizando todas as concepções de pensamento que supostamente utilizou; mas como já dizemos anteriormente, tal exemplo será minimamente discutido e analisado na seqüência, na próxima seção.

Um exemplo histórico ilustrativo - Galileu e a Queda dos Corpos: uma breve descrição do experimento e a análise do argumento

O experimento mental (E.M.) de Galileu Galilei (1564 - 1642) sobre a queda dos corpos foi elaborado pelo físico italiano em sua última obra, Discorsi (ou "Diálogo sobre as duas Novas Ciências") que ele escreveu durante a sua prisão domiciliar, e aparece também nos seus "Diálogos sobre os dois Sistemas de Mundo". Esse "experimento de pensamento" ("thought experiment") é considerado um dos mais fascinantes e persuasivos na história das ciências naturais e exemplifica um episódio raro na história da ciência, pois o argumento que o representa é da forma de um reductio ad absurdum (redução ao absurdo), que nós veremos como funciona posteriormente. Recorrendo apenas ao raciocínio lógico dedutivo, Galileu demonstrou, através do mesmo, que a concepção aristotélica de movimento, delineada na sua Física (precisamente a Física de Aristóteles), de que os objetos pesados caem mais rapidamente do que os mais leves acaba levando a uma contradição. Para Galileu, todos os objetos caem com a mesma velocidade, não obstante os seus respectivos pesos, e o que ele fez foi mostrar através deste E.M. que a concepção aristotélica estava equivocada. Esse experimento da queda dos corpos é demonstrável hoje em dia em laboratório com tubos de vácuo, mas o insight de Galileu é brilhante e genial porque ele usou apenas a lógica e o raciocínio dedutivo puro para chegar à solução correta, centenas de anos antes de as provas empíricas e observacionais serem possíveis de serem sistematizadas e realizadas nas condições controladas que o experimento exigiria.

Como curiosidade, é interessante notar que Galileu, na época, foi deveras criticado pelo excesso de confiança na conclusão que chegara a priori (cabe ressaltar aqui a natureza da prova galileana: o seu E.M., como não poderia ser diferente, foi totalmente independente da experiência, por isso o caráter a priori deste "experimento"); mas se ele tivesse de fato realizado os experimentos descritos em seu E.M. da queda dos corpos, nas condições ideais de execução dos mesmos, ele teria confirmado a hipótese de Aristóteles, e não a sua, devido aos efeitos da resistência do ar: um quilograma de chumbo e um quilograma de algodão, por exemplo, não caem ao mesmo tempo por que o ar oferece muito menos resistência ao chumbo do que ao algodão, pois se o experimento fosse realizado no vácuo, eles cairiam

exatamente ao mesmo tempo por possuírem a mesma massa, e conseqüentemente o mesmo peso. A narrativa de que Galileu realizou os seus experimentos soltando corpos da torre de Pisa também, muito provavelmente, não passa de mito ou lenda, pois os historiadores da ciência e da Física não possuem evidências conclusivas de que ele tenha de fato realizado estes experimentos; mas este E.M. do qual estamos falando Galileu realizou, conforme relatos históricos e de historiadores da Filosofia e da História da Ciência (como, por exemplo, Alexandre Koyré, um importante e reconhecido autor na área), e o teria feito de forma totalmente *a priori* e independente da experiência. No seu "Diálogo sobre as duas novas ciências" (*Discorsi*), a passagem onde aparece o experimento da queda dos corpos pode ser localizada no seguinte diálogo entre os personagens Salviati e Simplício:

SALVIATI: Se tomarmos dois corpos com velocidades naturais diferentes, é claro que, unindo os dois, o mais rápido será parcialmente retardado pelo mais lento, e o mais lento será um tanto acelerado pelo mais rápido. Você não concorda comigo nessa opinião?

SIMPLÍCIO: Não há dúvida nenhuma sobre isso.

SALVIATI: Mas se isso for verdade e se uma pedra grande se move com a velocidade, digamos, oito, enquanto uma pedra menor se move com a velocidade quatro, quando elas se unirem, o sistema se moverá com uma velocidade inferior a oito. No entanto, as duas pedras amarradas formam uma pedra maior do que a que antes se movia com a velocidade oito; por essa razão, o corpo mais pesado agora se move com menos velocidade que o mais leve, um resultado contrário à sua suposição. Assim você vê que, a partir do pressuposto de que o corpo mais pesado se move mais rápido do que o mais leve, posso inferir que o corpo mais pesado se move mais lentamente. [...]

E assim, Simplício, devemos concluir que os corpos grandes e pequenos se movem com a mesma velocidade, contanto que tenham a mesma gravidade específica. Galileu, Diálogo sobre duas novas Ciências (*Discorsi*)

Após esta exposição introdutória e da localização no excerto do E.M. e do argumento de Galileu contrapondo os resultados da Física de Aristóteles, passemos a apresentar o argumento dedutivo galileano na sua forma clássica de premissas e conclusão, resultado este da interpretação do texto original de sua(s) obra(s), com as regras de inferência realizadas e a análise do argumento e a explicação das mesmas desenvolvidas posteriormente. É importante chamar a atenção para o fato de que não necessariamente Galileu desenvolveu este argumento na forma como ele está estruturado aqui, este é apenas um recurso em lógica informal e teoria da argumentação para sistematizar tal raciocínio nesta forma lógico-silogística:

RBECM, Passo Fundo, v. 4, edição especial, p. 1225-1241, 2021

Argumento sobre a queda dos corpos (Galileu Galilei)

P1 (Premissa 1). Se a bola leve cai mais lentamente do que a bola pesada, então ela age como uma trava sobre o sistema combinado, fazendo-a cair mais lentamente do que a bola pesada sozinha.

P2 (Premissa 2). Mas o sistema combinado é um objeto novo e ainda mais pesado, que cai mais rapidamente do que a bola pesada sozinha.

C1 (Conclusão 1). A bola leve não cai mais lentamente. (Modus Tollens, P1, P2)

P3 (Premissa 3). Se a bola leve não cai mais lentamente, então todos os objetos caem na mesma velocidade, independentemente dos seus respectivos pesos.

C2 (Conclusão 2). Todos os objetos caem na mesma velocidade, independentemente de seus respectivos pesos (Modus Ponens, P3, C1)³

Análise dos passos do argumento de Galileu sobre a queda dos corpos:

na premissa P1, Galileu parte do pressuposto, como hipótese inicial, de que a bola leve irá cair mais lentamente do que a bola pesada, o contrário da hipótese aristotélica: como afirmamos anteriormente, isto constitui o cerne da chamada prova por redução ao absurdo, que consiste em tirar uma conclusão contrária ao que se está pressupondo em uma das premissas. Este tipo de prova é perfeitamente legítimo na lógica clássica formal, e é muito utilizada: de maneira bastante simplificada e muito resumida, pode ser explicada ao se afirmar que se quer provar que P, então pressupõe-se ~P (não-P), aplicado no caso em questão. Na seqüência da análise da premissa P1, essa pressuposição é o antecedente de um condicional "Se P, então Q", precisamente P; o conseqüente Q afirma que a bola leve age como uma trava sobre o sistema combinado, que o faz cair, o sistema bola mais leve mais a bola pesada, mais lentamente do que a bola pesada sozinha: novamente, Galileu igualmente continua procedendo pelo recurso da *reductio ad absurdum*, pois o condicional todo ("Se P, então Q") é uma conseqüência lógica da sua pressuposição inicial de que os corpos pesados não caem mais rapidamente do que os mais leves (como supunha Aristóteles).

Na premissa P2, Galileu igualmente não apela para a experiência, e a proposição asserida por ele é resultado de dedução *a priori* no seu E.M., ao inferir que o sistema combinado é um objeto novo e ainda mais pesado e que cai mais rapidamente do que a bola pesada sozinha, que é a negação do conseqüente da premissa anterior. Então, como resultado lógico pela regra do *Modus Tollens* (Se P, então Q, ~Q, então ~P), a conclusão C1 é a negação do antecedente de P, a bola leve não cai mais lentamente,

o resultado da *reductio ad absurdum* que Galileu queria chegar. Na seqüência da argumentação, esta conclusão C1 irá funcionar como o antecedente da próxima premissa elencada, P3, que retira como conseqüência lógica disto que todos os objetos caem na mesma velocidade, independente dos seus pesos (a bola leve não caindo mais lentamente), e finalmente, para se obter a conclusão final do argumento, C2, de que todos os objetos caem na mesma velocidade, independentemente dos seus pesos, a regra do *Modus Ponens* (Se P, então Q, P, então Q) é aplicada entre P3 e C1, e a razão tanto de se obter a conclusão provisória na cadeia argumentativa C1 e a postulação da premissa P3 foi a de se derivar esta conclusão C2, o resultado contra-intuitivo à experiência, se realizada no ar e não no vácuo, como explicamos anteriormente, que Aristóteles julgava correto e que Galileu demonstra, apenas com a lógica clássica dedutiva e as suas regras de inferência, ser falso.

Cabe ressaltar aqui que a validade do argumento em questão é inquestionável, no sentido lógico de que se aceitarmos as suas premissas, necessariamente teremos de aceitar as suas conclusões sob pena de se cair em irracionalidade: uma vez aceitas as premissas, necessariamente se devem aceitar as conclusões. As suposições de Galileu ao demonstrar que todos os corpos caem com a mesma velocidade independente dos seus pesos foram as mesmas que Newton também utilizou na sua mecânica clássica, e não há dúvida alguma de que o resultado encontrado por Galileu pode ser também provado por meio da mecânica newtoniana: esse resultado é deduzido das definições iniciais e das três leis de Newton da mecânica (nos Princípios Matemáticos da Filosofia Natural, *Principia*, Escólio às definições, Corolário 3). Tais resultados newtonianos tornam cogente e consistente o argumento de Galileu da queda dos corpos, ajudando-o também a corroborá-lo, oferecendo com isso, além da prova aqui demonstrada, analisada e explicada, mais razões para aceitar a prova do E.M. de Galileu como uma prova lógica válida e legítima.

A didática e o recurso pedagógico dos Experimentos Mentais (E.M.) no Ensino de Física e de Ciências e Considerações Finais

Como podemos constatar na análise do E.M. de Galileu sobre a queda dos corpos da seção anterior, o poder explicativo de tal ferramenta didática é bastante amplo e rico, onde através do recurso da construção do argumento, se levado para a sala de aula, é possível desenvolver nos estudantes capacidades argumentativas de compreensão

RBECM, Passo Fundo, v. 4, edição especial, p. 1225-1241, 2021

do problema e autonomia epistêmica e intelectual para, através de reflexão crítica, se posicionar e ter sobre o mesmo um entendimento amplo e não apenas restrito a uma espécie de abordagem estanque e estática sobre o problema em questão: o recurso da argumentação oferece uma dinâmica nesse processo todo de ensino e aprendizagem, e é isso que procuraremos explorar um pouco mais aqui. Um dos autores que pesquisam em Ensino de Ciências que fazem referência explícita aos E.M. e ao seu uso didático-pedagógico é Matthews (1994), que chama a atenção para a antecipação de resultados que um experimento de pensamento pode oferecer, no sentido de oferecer esclarecimentos conceituais para o aluno: alguns terão mais facilidade com o recurso heurístico, chegando a determinados resultados de formas diferentes entre si, e outros terão mais dificuldades e chegarão a outros resultados, talvez de outras formas e em tempos distintos, mas de uma maneira ou outra, de forma geral, se beneficiarão do recurso de acordo com suas capacidades cognitivas e interesses envolvidos.

Outro autor essencial da Filosofia da Ciência e que também se dedicou à natureza e a importância dos E.M. no ensino de Física e de Ciências, Thomas Kuhn, em seu fundamental e seminal livro "A Tensão Essencial" (KUHN, 1977), aponta que a importância dos E.M. está tanto nos conceitos que já se dominam previamente quanto nos conceitos adquiridos e formados após o recurso heurístico da utilização do experimento de pensamento, resultando-se daí um interessante conflito cognitivo que pode e deve ser utilizado a favor do aprendizado em sala de aula, tanto para os estudantes quanto para o professor, que também aprendem nessa dinâmica interativa, fundamentalmente dialógica e explicativa em uma via de mão dupla entre os diferentes agentes educativos (há, também, associado a isto, toda uma discussão acerca da questão da mudança conceitual no ensino de ciências desenvolvida nos anos 1980 especialmente por Posner e outros autores que desenvolveram trabalhos nesta área (POSNER et al., 1982), do qual não nos ocuparemos aqui, sendo a referência essencialmente ilustrativa e comparativa). Esse conflito cognitivo que emerge nesse processo independe da própria natureza dos E.M. e do seu contexto investigativo, podendo abarcar áreas do conhecimento científico que vão desde a Teoria da Relatividade até a Mecânica Quântica, passando por outras áreas da Física e das Ciências Naturais: no caso da Física Quântica, o famoso e notório debate Bohr-Einstein sobre a natureza dos eventos microscópicos e as diferentes interpretações daí decorrentes (como a interpretação de Copenhague, por exemplo, que destaca o papel que o observador teria na medição do experimento), foi muito

motivado e desenvolvido através do recurso de experimentos de pensamento (como o Paradoxo EPR, por exemplo), dada, também, a dificuldade instrumental de realização de experimentos físicos controlados. Acerca desta questão e particularmente tratando desta querela, Helm e Gilbert afirmam o seguinte:

Os experimentos mentais em mecânica quântica [...] dependem de uma 'educação padrão' que conduzem os aprendizes aos limites dessa teoria. Desse modo, ao lado de 'velhas' concepções, como posição e momento, que tiveram que ser modificadas no contexto da nova teoria, novos conceitos tais como fóton e função de onda sublinham a estrutura e interpretação desses EM. A explícita introdução da função de onda e sua interpretação como amplitude de probabilidade na discussão de um experimento mental como, por exemplo, o problema da interferência de elétrons na dupla fenda pode ser preparado para explorar a compreensão de aprendizes em comportamento ondulatório em geral e sobreposição de ondas em particular. Além do mais, isso pode ser feito antes de o estudante tomar contato formal com a equação de Schrödinger. Nesse caso [...] a função dos EM é a de promover e ampliar a aceitação de uma nova teoria. [HELM; HILBERT, 23, p. 130]⁴.

Esta passagem é bastante enriquecedora e com muitos detalhes sobre a importância dos E.M. na construção do conhecimento científico e na aceitação ou rejeição de teorias científicas, onde mais de um E.M. é evocado e utilizado neste contexto investigativo. É interessante notar que os autores chamam a atenção para a aquisição e compreensão de conceitos anteriormente ao contato com formalismos e equações matemáticas, enfatizando um valor lúdico e imaginativo na construção do E.M. e dos elementos decorrentes daí que possibilitem alguma espécie de aprendizado. Nesse sentido, o processo argumentativo é alimentado pela controvérsia e pela noção de certo desacordo racional, que são os elementos que fazem o conhecimento científico avançar através do contraponto de idéias e concepções teóricas. Os livros didáticos de ensino de ciências, de uma maneira geral, não se utilizam do expediente do E.M. como ferramenta didática, e quando o procuram fazer, trazem alguma discussão nos seus apêndices, e de forma bastante superficial: o que procuramos minimamente mostrar neste ainda bastante embrionário e introdutório trabalho, que requer muita pesquisa ulterior sobre esta temática ainda não explorada suficiente e exaustivamente, é a importância do E.M. não como complemento ou uma reflexão adicional, mas sim uma prática que pode e mesmo deve ser utilizada como uma metodologia dominante em sala de aula, promovendo aprendizagem significativa através do recurso da análise de argumentos e do esclarecimento conceitual tendo o expediente do E.M. como fundamento lógico e epistemológico deste processo.

RBECM, Passo Fundo, v. 4, edição especial, p. 1225-1241, 2021

A profusão e gama de E.M. na história da ciência, de uma maneira geral, é bastante ampla e significativa, onde tanto os professores quanto os estudantes podem se valer do seu uso, mostrando-se desafiadores e configurando-se como fontes importantes de novas idéias e concepções sobre a ciência quando envolvem problemas apropriados que, com o recurso da imaginação criativa, revelam-se eficazes na obtenção de aprendizado. A IME referida anteriormente, como forma de raciocínio indutivo bastante utilizada na prática científica, é um bom referencial de como E.M. em ciência são construídos de uma forma não necessariamente dedutivamente válida, onde a melhor explicação para um determinado fenômeno que não pode ser realizado empiricamente, ou sua execução é extremamente complexa e complicada, pode ser imaginada como um experimento de pensamento, e há vários exemplos dentro daquilo que convencionou-se chamar de "método científico" na ciência em que estes exemplos podem ser encontrados: dois casos notáveis podem servir de ilustração aqui, ambos oriundos da Astronomia e da Astrofísica, que é a descoberta de exoplanetas e a estimativa de que no centro da nossa galáxia, a Via Láctea, muito provavelmente possa abrigar um buraco negro. A maneira como se chega à conclusão de que há um corpo massivo passando pela "frente" de uma estrela distante, corpo este que não pode ser observado por estar a milhares de anos-luz de distância e não produzir luz própria, é a da evidência "indireta", digamos assim, pois o corpo não pode ser observado pelos melhores telescópios que temos, e a sua provável existência é inferida pelo desvio que a luz desta estrela sofre ao passar por ele e ser observada aqui na Terra: a melhor explicação para este fenômeno é que um corpo com as características de um planeta (no caso, um planeta extra-solar) provoque este desvio, e é o resultado que uma IME daria, onde uma espécie de argumento indutivo-abdutivo é gerado, e mediado pelo expediente de um experimento de pensamento, já que não pode ser observado diretamente, haja vista a impossibilidade física para tanto, devido aos recursos óticos disponíveis na Terra. No caso do exemplo do buraco negro do centro da galáxia, raciocínio análogo é utilizado: há um campo gravitacional muito intenso que produz extrema atividade física nas estrelas próximas do centro da via láctea, como a emissão de raios X, por exemplo; logo, se infere por IME que há um corpo supermassivo localizado nesse centro que seja responsável por este fenômeno, e este corpo muito provavelmente se assemelhe ou possa ser um buraco negro. Aqui também há a presença de um E.M. na construção do argumento e da consequente explicação do fenômeno físico envolvido, e nota-se a

importância de tal recurso nesta construção teórica. Tais argumentos e explicações, se utilizados de forma adequada em sala de aula, podem se mostrar didaticamente bastante eficientes para o aprendizado dos estudantes.

De acordo com Valentzas, Halkia e Skordoulis (VALENTZAS; HALKIA; SKOR-DOLIUS, 2000), por exemplo, os E.M. auxiliam no processo de ensino-aprendizagem através do entendimento das convenções conceituais envolvidas no experimento de pensamento, em estratégias de questionamentos das situações apresentadas, e também relacionadas com estas convenções, como ferramentas utilizadas na comunicação destes questionamentos, e no trabalho colaborativo que deve existir entre professores de ciências e estudantes em sala de aula. Tais autores realizaram, também, atividades envolvendo o uso de E.M. no ensino médio secundarista, especialmente envolvendo questões sobre o Princípio da Incerteza de Heisenberg, o Princípio da Equivalência da Teoria da Relatividade Geral e as conseqüências da constância da velocidade da luz (c) sobre os conceitos de espaço e tempo: pode-se constatar, através deste estudo, que houve forte engajamento dos estudantes com as atividades propostas e trabalhadas em sala de aula, com trabalho colaborativo e fortemente centrado no desenvolvimento de capacidades argumentativas, onde mesmo aqueles estudantes que demonstravam algum nível de dificuldade na compreensão dos conceitos envolvidos, houve avanço cognitivo e algum tipo de aprendizagem foi conquistada e alcançada. Embora a amostragem dos trabalhos apresentados neste estudo não seja em número significativo e não se possa inferir resultados mais robustos e definitivos, fica em alguma medida apontada que a eficácia dos E.M. em sala de aula, se utilizada da forma metodologicamente correta e adequada, pode ser bastante útil e relevante, gerando aprendizado eficiente e significativo. Procuramos minimamente mostrar, com esta resumida discussão teórica aqui exposta e empreendida, e com os exemplos utilizados, que esta conjunção entre o uso dos E.M. como argumentos fornecendo explicações para fenômenos científicos, através da lógica destes argumentos e consequentemente de uma epistemologia inerente à natureza destes E.M, pode e deve ser entendida e utilizada em sala de aula como uma metodologia eficaz para o desenvolvimento de um aprendizado eficiente e significativo em ciências, promovendo nos estudantes capacidades como pensamento crítico e autonomia intelectual, fomentando e promovendo com isso uma educação científica responsável e formadora para a cidadania.

Epistemology of mental experiments, argumentation and scientific explanations in physics and science teaching

Abstract

This work aims to discuss the Epistemology of Mental Experiments (ME), its importance in the History of Science and its methodological relevance for the learning of concepts in the Teaching of Physics. It is intended to defend that ME can be used as arguments in scientific education, in the sense of being explanatory and informative, enabling the student to have a better understanding of scientific concepts. There are very important authors in the discussion about the uses of argument and argumentation in teaching, who developed works analyzing the nature and relevance of ME in science, as well as other debates and discussions in Epistemology and Philosophy of Science that dealt with the classical notion of explanation scientific knowledge and the nature of scientific knowledge. The use of deductive arguments in the History of Science via ME will also be discussed, as in the critical analysis of Galileo's classic demonstration of falling bodies, for example, among other cases in the History of Science, but also other historical examples, where arguments inductive-abductive as inferences to the best explanation (IME) can be an interesting heuristic resource for providing scientific explanations. What is minimally intended to show, in the end, is that the use of ME as arguments in science education, through the didactic resource of argumentation, whether inductive such as IME or deductive, can bring significant contributions to science learning, through a critical analysis of them by the students, seeking to encourage students to critical thinking and understanding, in which they can offer rational explanations for scientific phenomena.

Keywords: Epistemology; Mental Experiments; Physics Teaching; Argumentation; Scientific Education.

Notas

- ¹ Retirado de Rodrigues e Nitsche (2019, p. 56).
- ² Retirado de Rodrigues e Nitsche (2019, p. 57).
- Retirado de BRUCE, M.; BARBONE, S Os 100 argumentos mais importantes da Filosofia Ocidental. Editora Pensamento-Cultrix, 2013, p. 413-414. A obra FISHER, A. "A lógica dos verdadeiros argumentos", Editora Novo Conceito, 2007, também foi importante como referência e material de consulta para a confecção e análise do argumento de Galileu.
- ⁴ Retirado de Michellan, Sousa e Santin (2010, p. 1507-1508).

Referências

BROWN, J. **The Laboratory of the Mind:** Thought Experiments in the Natural Sciences. Routledge, London, 1991.

BRUCE, M.; BARBONE, S. Os 100 argumentos mais importantes da Filosofia Ocidental. Editora Pensamento-Cultrix, 2013.

COOPER, R. Thought Experiments, Metaphilosophy v. 36, 328, 2005.

FISHER, A. Alógica dos verdadeiros argumentos. Editora Novo Conceito, 2007.

GALILEI, G. Discorsi e Demosntrazioni Matematiche, Intorno à Due Nuove Scienze, 213, Leida, Appresso gli Elsevirii. Leiden: Louis Elsevier, 1638, ou Mathematical Discourses and Demonstrations, Realting to Two New Sciences, traduzido por Henry Crew e Alfonso de Salvio. Nova York: Dover, 1914.

GALILEI, G. **Dialogue concerning the Two Chief World Systems**, traduzido de *Dialogo* por S. Drake, Seg. Ed. revisada, Berkeley, CA: University of California Press, 1967.

GENDLER, T.S., Galileo and the Indispensability of Scientific Thought Experiment. **Science** v. 49, 397, 1998.

HELM, H. and GILBERT, J., Physics Education 20, 124, 1985.

KUHN, T. A Tensão Essencial. Edições 70, Lisboa, 1977.

KUHN, T. The Structure of Scientific Revolutions. The University of Chicago Press, 1962.

MATTHEWS, M. R. Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science. Routledge, Education Research Library, New York and London, 1994, p. 95-105

MICHELLAN, K. N. M.; SOUZA, A. R.; SANTIN, O. Experimentos Mentais e suas potencialidades didáticas. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 32, n. 1, p. 1507-1-1507-10, 2010.

NEWTON, I. **Principia:** Princípios Matemáticos da Filosofia Natural. Seg. Edição, EDUSP, Trad. Triste dos Santos Freire Ricci, 2016.

NORTON, J. Thought experiments in Einstein's work. In: MASSEY, T.; HOROWITZ, G. (Ed.). **Thought experiments in science and philosophy**. Lanham, MD: Rowman & Littlefield, 1991.

NORTON, J. Why thought experiments do not transcend empiricism. In: C. HITCHCOCK, C. (Ed.). Contemporary debates in the philosophy of science. Somerset: Wiley-Blackwell, 2004.

POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W.; GERTZOG, W. A. Accomodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. **Science Education**, v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.

RODRIGUES, T. V.; NITSCHE, R. S. Experimentos Mentais como Argumentos: Objeções à abordagem de Norton. **Perspectiva Filosófica**, v. 46, n. 1, p. 53-76, 2019.

VALENTZAS, A.; HALKIA, K.; SKORDOLIUS, C., **Thought Experiments in the Theory of Relativity and in Quantum Mechanics:** Their Presence in Textbooks and in Popular Science Books, University of. Athens, Athens, 2000.