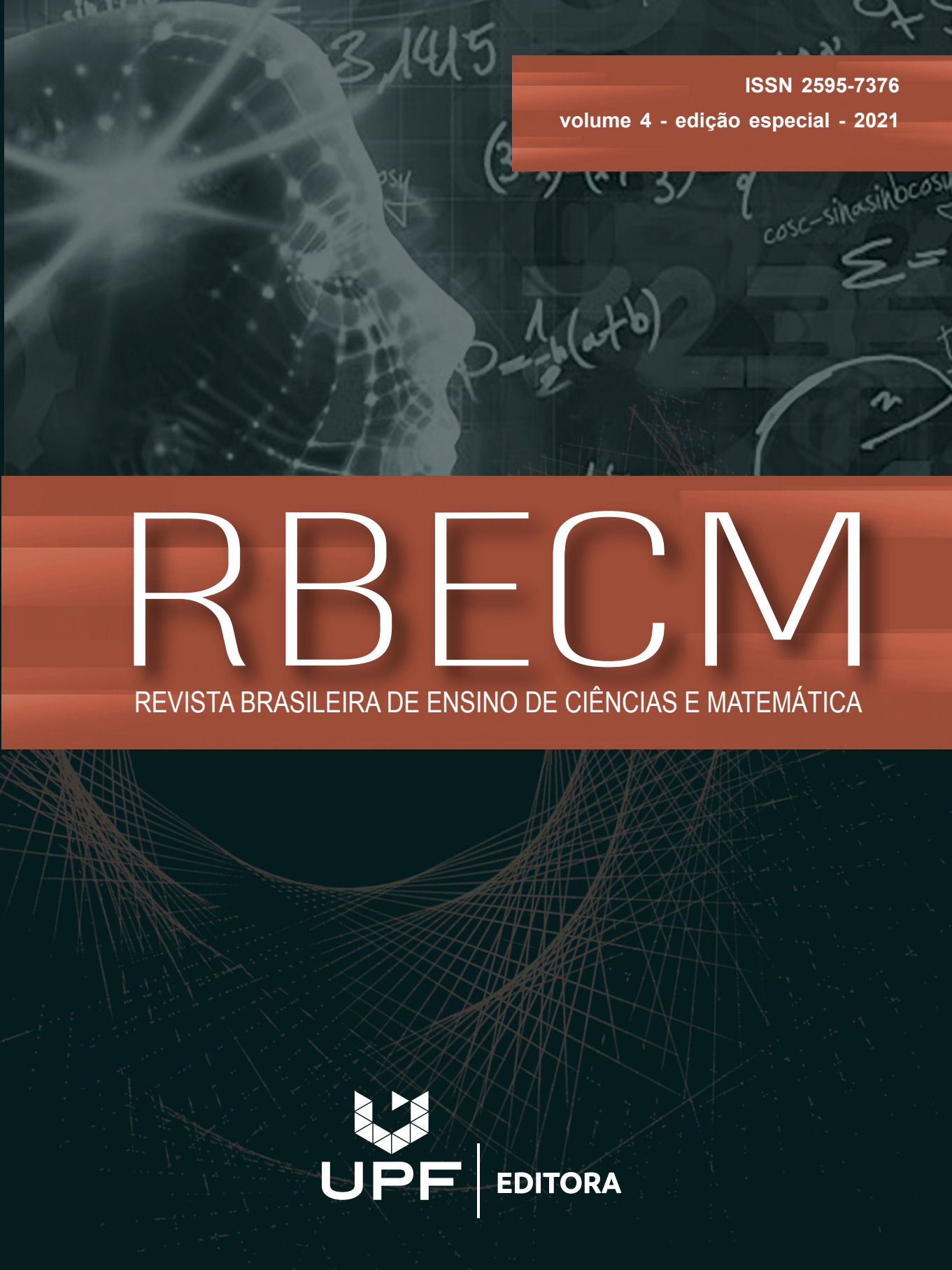




ISSN 2595-7376

volume 4 - edição especial - 2021

RBECM

REVISTA BRASILEIRA DE ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Bernadete Maria Dalmolin
Reitora

Edison Alencar Casagrande
Vice-Reitor de Graduação

Rogério da Silva
Vice-Reitor de Pesquisa, Pós-Graduação,
Extensão e Assuntos Comunitários

Antônio Thomé
Vice-Reitor Administrativo

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática****Equipe Editorial**

Dra. Aline Locatelli, Universidade de Passo Fundo, Brasil
Editora-chefe

Dr. Luiz Marcelo Darroz, Universidade de Passo Fundo, Brasil
Editor executivo

Dra. Cleci Werner da Rosa, Universidade de Passo Fundo, Brasil
Dr. Marco Antonio Trentin, Universidade de Passo Fundo, Brasil
Editores associados

Conselho Editorial

Ana Rita Lopes Mota – Universidad do Porto, Portugal

Cristiano Roberto Cervi – Universidade de Passo Fundo, Brasil
Daniela Borges Pavani – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Francisco Roberto Pinto Mattos – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Brasil

Marcelo de Carvalho Borba – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Brasil

Matthias Glöel – Universidad Católica de Concepcion, Chile

Miguel Angel Queiruga Dios – Universidad de Burgos, Espanha

Neusa Maria John Scheid – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Brasil

Rosimar Serena Siqueira Esquinsani – Universidade de Passo Fundo, Brasil

Solange Locatelli – Universidade Federal do ABC, Santo André, Brasil

Endereço postal

Universidade de Passo Fundo

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática

Instituto de Ciências Exatas e Geociências

Campus I - BR 285, Bairro São José - CEP 99052-900

Passo Fundo/RS

E-mail: ppgecm@upf.br

Telefone: 54 3316-8345 (ICEG)

3316-8363 (Secretaria de Pós-Graduação)

A RBECM possui publicação semestral do Brasil sob a responsabilidade do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM), voltada exclusivamente para a pesquisa na área de ensino/aprendizagem de ciências (Física, Química, Biologia ou Ciências Naturais, quando enfocadas de maneira integrada).

Este periódico tem como objetivo principal a divulgação aberta de trabalhos relevantes e originais em pesquisa em ensino de Ciências para a comunidade internacional de pesquisadores.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática
[recurso eletrônico] / Universidade de Passo Fundo,
Faculdade de Educação. – Vol. 1, n. 1 (2018)- . – Passo
Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2018-

Semestral: 2018-
eISSN 2595-7376.

Modo de acesso: <<http://seer.upf.br/index.php/rbecm>>.

1. Ciências exatas - Periódico. 2. Ciências biológicas -
Periódico. I. Universidade de Passo Fundo. Instituto de
Ciências Exatas e Geociências.

CDU: 372.85

Bibliotecária responsável Jucelei Rodrigues Domingues - CRB 10/1569



UPF | EDITORA

Editora

Janaina Rigo Santini

Revisão

Cristina Azevedo da Silva

Programação visual

Rubia Bedin Rizzi

* A *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática* é responsável pela revisão desta edição.

Sumário

1023 Editorial

Encontros e Construções Coletivas: um caminho para fortalecer a Educação em Ciências no Brasil

Nathan W. Lima, Andreia Guerra, Cleci T. Werner da Rosa

1027 Histórias plurais para a construção de um mundo comum: como História, Filosofia e Sociologia das Ciências na Educação em Ciências podem contribuir para construção do mundo Pós-Pandemia

Plural histories for the construction of a common world: how History, Philosophy and Sociology of Sciences in Science Education can contribute to the construction of the Post-Pandemics world

Nathan W. Lima

1047 O centenário debate sobre a interpretação e os fundamentos da Física Quântica

The centenary debate on the interpretation and foundations of Quantum Physics

Olival Freire Junior

1067 Considerações metodológicas sobre o uso de fontes primárias no ensino de Física

Methodological Considerations on the use of primary sources in Physics Education

Ricardo Karam

1083 Novas perspectivas historiográficas para história de ciências no ensino: discutindo possibilidades para uma educação em ciências mais política¹

New perspectives to science teaching from a historical approach: possibilities for a more political science education

Andreia Guerra

1101 O Fenômeno Cultural do Misticismo Quântico: possibilidades e perspectivas de investigação

The Cultural Phenomenon of Quantum Mysticism: possibilities and perspectives of research

Marcia Tiemi Saito

1130 Ciência e Valores: uma leitura epistemologicamente guiada de fontes primárias

Science and Values: an epistemologically guided analysis of primary historical sources

Marinês Domingues Cordeiro

1155 Para que história da ciência no ensino? Algumas direções a partir de uma perspectiva sociopolítica

History of Science in Teaching – for what? Some directions from a sociopolitical perspective

Cristiano B. Moura

1179 The teaching of physics and the practice of science: bridging them with the philosophy of scientific models in the case of particle physics

O ensino de Física e a prática da ciência: aproximando-os com filosofia de modelos científicos no caso da física de partículas

João Pedro Ghidini, André Fantin, Ivã Gurgel, Marcelo Gameiro Munhoz

1202 A invisibilidade das mulheres na Física: um recorte nos últimos 12 anos na produção de eventos e revistas de alto impacto

The invisibility of women in physics: a cut in the last 12 years in the production of high impact events and magazines

Camila Andrade Pandini, Roberta Chiesa Bartelmebs, Maria Milena Figueira Tegen

1225 Epistemologia dos experimentos mentais, argumentação e explicações científicas no ensino de Física e de Ciências

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

Ricardo Rangel Guimarães

1242 Reconstruindo alguns modelos sobre luz e visão da história da ciência

Reconstructing some models about light and view from the History of Science

Lisbeth Lorena Alvarado Guzmán, Roberto Nardi

1268 O uso da argumentação na acepção de Stephen Toulmin articulado à abordagem histórico-epistemológica com enfoque no aluno: um caminho possível para construção da aprendizagem em relatividade

The use of argumentation in Stephen Toulmin's sense articulated with the student-centered historical-epistemological approach: a possible way to build learning in relativity

Maria Derlandia de Araújo Januário, Neusa Teresinha Massoni

1287 Charges e a história cultural da ciência: o eclipse e a deflexão da luz

Cartoons and the cultural history of science: the eclipse and the light deflection

Vinicius Jacques, Lucas Albuquerque do Nascimento, Henrique César da Silva

1315 O ensino de História e Filosofia da Termodinâmica como meio para o pensamento complexo

Teaching History and Philosophy of Thermodynamics as means for complex thinking

Louise Trivizol, Silvia F. de M. Figueirôa

1341 Foguetes, satélites artificiais e telescópios através da libras: uma abordagem histórica para o ensino-aprendizagem de astronomia na cultura surda

Rockets, artificial satellites and telescopes through libras: a historical approach to teaching and learning astronomy in the deaf culture

Ellen Cristine Prestes Vivian, André Ary Leonel

Editorial

Encontros e Construções Coletivas: um caminho para fortalecer a Educação em Ciências no Brasil

Nathan W. Lima, Andreia Guerra, Cleci T. Werner da Rosa

Desde muito cedo, alguns cientistas reconheceram a importância das narrativas históricas para a ciência (VIDEIRA, 2007) e para o ensino de ciências, como podemos perceber na emblemática obra de Mach (1902) sobre Mecânica. Apesar desse longo histórico, é possível pensar que a institucionalização do campo de História, Filosofia, Sociologia e Ensino de Ciências (HFS&EC)¹ ocorreu, de fato, apenas entre o final da década de 1980 e o início da década de 1990, como discute Michael Matthews (1992) na fundação da revista *Science & Education*. Considerando que a área de Ensino de Ciências, de uma forma mais geral, se organizou somente no período da Guerra Fria (NARDI, 2005), podemos dizer que a HFS&EC é talvez um de seus campos mais tradicionais.

Ao longo desse tempo, a comunidade de HFS&EC também passou por um percurso histórico, adotando diferentes preocupações, objetivos e compromissos teóricos. Além disso, novos eventos e instituições foram criados, dando-lhe materialidade e representação concreta no mundo acadêmico e educacional. O IHPST (*International History, Philosophy, and Science Teaching Group*), por exemplo, é a comunidade que, desde 1989, reúne pesquisadores de todo o mundo para dialogar sobre essa área de pesquisa, seja por meio de publicações da sua revista, *Science & Education*, ou por seus congressos internacionais bianuais, intercalados por eventos continentais, também bianuais.

No Brasil, embora não haja uma instituição específica para a HFS&EC, há, na atualidade, diversos periódicos engajados na publicação dessa temática, como a *Revista Brasileira de História da Ciência*, o *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*,

a *Revista Brasileira de Ensino de Física*, entre tantos outros. Ademais, os eventos mais importantes da área de Ensino de Ciências também costumam dedicar linhas específicas para contemplar a HFS&EC.

O processo de consolidação e fortalecimento de uma área, entretanto, é contínuo e incessante. Nunca chegará o momento em que poderemos dizer que qualquer área do conhecimento foi definitivamente consolidada. Para que uma área ou conhecimento se mantenha estável, é preciso haver redes concretas e materiais por onde o conhecimento produzido possa circular (LATOURET, 1999). Nesse sentido, são necessários artigos, revistas especializadas, eventos, grupos de pesquisa, entre outros espaços de divulgação e circulação. Não existe ciência sem comunidade científica e, por sua vez, não existe comunidade científica sem os instrumentos e práticas que a sustentam. Portanto, o fortalecimento da educação científica e da área de HFS&EC no Brasil demanda tanto produzir conhecimento sobre os temas a elas vinculados quanto organizar os meios necessários para que esse conhecimento possa circular, se desenvolver e, finalmente, se estabilizar.

Vivemos, por outro lado, um período extremamente conturbado, em que os consensos científicos e históricos mais bem estabelecidos vêm sendo colocados sob suspeição na esfera pública, ensejando a noção de que vivemos em um período de pós-verdade (LIMA et al., 2019). Resistir ao desmonte do conhecimento científico e da educação requer fortalecer as comunidades, ampliar o diálogo e encontrar pontos de convergência sem renunciar à complexidade e à pluralidade teórica, metodológica e pedagógica.

Nesse contexto, em janeiro de 2020, um grupo de professores e pesquisadores se articulou para organizar um encontro sobre História e Filosofia no Ensino de Física do Sul do Brasil. O objetivo consistia em reunir a comunidade local presencialmente, por alguns dias, para que os participantes pudessem se conhecer e trocar ideias e experiências. A proposta de manter o evento circunscrito à Física estava em facilitar a identificação de pontos de convergência entre os pesquisadores e oportunizar um encontro presencial entre os grupos de pesquisa. Nesse momento, o coronavírus ainda representava um termo estranho e associado a algo que estava acontecendo longe, na China, e que parecia inalcançável para nós. Nos meses seguintes, ainda tínhamos a ilusão de que a pandemia duraria algo como três meses e que logo poderíamos nos encontrar presencialmente. Mas isso não se concretizou, e passamos um longo período em isolamento social.

Depois de muita resistência, reconhecendo que a situação se prolongaria por muito mais tempo do que se previa inicialmente, a comissão organizadora do evento tomou a decisão de transformar o encontro em um evento virtual a ser realizado no mês de maio de 2021. Embora sem alterar o nome (I Encontro de História, Filosofia e Ensino de Física do Sul Brasil²), a proposta inicial ganhou outra dimensão, deixando de ser regional e passando a contar com a participação de pesquisadores e alunos de todo o Brasil, bem como de palestrantes do Brasil, da América Latina e da Europa. Nesse processo de redimensionamento, o evento ganhou o apoio oficial do IHPST, constando como um dos eventos sugeridos pela instituição para o ano de 2021.

Ao longo do Encontro, foram oferecidas duas palestras, duas mesas redondas, quatro minicursos e duas sessões de apresentação de trabalhos³. O presente número da *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática* reúne justamente artigos escritos pelos organizadores, palestrantes e conferencistas do evento, bem como pelos autores de trabalhos apresentados e que foram indicados, no processo de avaliação, para serem expandidos e publicados na forma de artigo. Os temas, as abordagens teóricas e metodológicas perpassam pelas mais diferentes perspectivas da HFS&EC, evidenciando a complexidade e a maturidade da área.

Esperamos que esse número histórico, assim como a primeira edição do Encontro que o originou, possa contribuir para o fortalecimento da HFS&EC e da educação científica no Brasil. Desejamos que os artigos aqui publicados possam, em primeiro lugar, materializar as diferentes pesquisas que vêm sendo desenvolvidas na temática e que, com isso, possamos pensar sobre a educação científica em suas intersecções com história, filosofia e sociologia; mas, sobretudo, desejamos que essas produções possam motivar e fomentar outros eventos, revistas e publicações, de forma a oportunizar a articulação de uma rede cada vez mais potente no sentido de contribuir para uma educação científica significativa e capaz de promover um país mais justo e igualitário.

Notas

¹ Em inglês HPS&ST (*History, Philosophy, Sociology and Science Teaching*).

² Os dados sobre o evento podem ser encontrados em <https://www.upf.br/encontrohistoriaefilosofianoensinodafisica/>

³ Os vídeos das palestras e mesas redondas podem ser encontrados em <https://www.youtube.com/channel/UCwGUxwU01u2TNxtWlFR2i5g>

Referências

LATOUR, B. **Pandora's Hope**: essays on the reality of Science Studies. Cambridge: Harvard University Press, 1999.

LIMA, N. W. et al. Educação em Ciências nos Tempos de Pós-Verdade: Reflexões Metafísicas a partir dos Estudos das Ciências de Bruno Latour. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 19, 2019.

MACH, E. **The Science of Mechanics**: a critical and historical account of its development: The Open Court Publishing Company, 1902.

MATTHEWS, M. R. History, philosophy, and science teaching: The present rapprochement. **Science & Education**, v. 1, n. 1, p. 11–47, 1992.

NARDI, R. Memórias da Educação em Ciências no Brasil: A Pesquisa em Ensino de Física. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 1, p. 63-101, 2005.

VIDEIRA, A. A. P. Historiografia e História da Ciência. **Revista da Fundação casa Rui Barbosa**, n. 1, p. 111-158, 2007.

Histórias plurais para a construção de um mundo comum: como História, Filosofia e Sociologia das Ciências na Educação em Ciências podem contribuir para construção do mundo Pós-Pandemia

Nathan W. Lima*

Resumo

Vivemos um mundo de profunda hibridização entre natureza e sociedade. Por um lado, a ação humana afetou e afeta diretamente a constituição do próprio planeta, ensejando, para alguns, o início de um novo tempo, o Antropoceno. Por outro lado, agentes não-humanos, como vírus, impactam eleições, a economia e a forma como as pessoas vivem. Tais interrelações motivam a proposição de uma cosmopolítica. É por meio da cosmopolítica que podemos, coletivamente, construir um mundo comum, mais justo e viável para todos. Tal processo, entretanto, é extremamente complexo e demanda conhecimentos e práticas de diferentes campos de atuação humana. O primeiro objetivo deste trabalho é discutir a noção de que a inserção de História, Filosofia e Sociologia (HFS) das Ciências na Educação em Ciências pode ser uma forma potente de educação para a construção do mundo comum mais justo. O segundo objetivo é propor a interpretação de que diferentes tendências historiográficas, filosóficas e sociológicas – usualmente vistas como concorrentes ou excludentes – podem ser interpretadas como complementares no espaço pedagógico, de forma que a pluralidade teórica é um caminho necessário para o mundo comum.

Palavras-chave: História, Filosofia e Sociologia da Ciência; Cosmopolítica; Estudos das Ciências.

* Doutor em Ensino de Física pela Universidade Federal do Rio grande do Sul. Professor do Departamento de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Docente do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. E-mail: Nathan.lima@ufrgs.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0566-3968>

Introdução

A educação é um processo por meio do qual, em alguma medida, almeja-se transformação. Educamos para que, ao final da atividade pedagógica, os participantes tenham desenvolvido novos discursos, experienciado diferentes práticas, mobilizado instrumentos materiais ou simbólicos até então por eles desconhecidos.

Por outro lado, não é possível separar quem somos daquilo que fazemos e dos repertórios de que dispomos. Nossa identidade se delinea justamente a partir do complexo de práticas, experiências e dispositivos que apresentamos, ou seja, de nossas *performances* (LATOURE, 1999). Somos *humanos-com-instrumentos* (WERTSCH, 1993), uma rede heterogênea caracterizada por diferentes elementos humanos e não-humanos, que se define por sua capacidade de agência no mundo (LATOURE et al., 2012). Portanto, com a educação, ao transformar discursos, práticas e domínio sobre instrumentos materiais e simbólicos, em última instância, modificamos quem as pessoas são.

Nesse sentido, quando falamos sobre educação, ou, mais especificamente, sobre o que devemos ensinar, a questão final é, essencialmente, *ontológica*, pois revela quem gostaríamos que os discentes se tornassem ao final do processo, quem gostaríamos que eles passassem a *ser*. É por isso que Tomás Tadeus da Silva (2010) reforça a noção de que currículo é uma questão de *identidade*, não uma identidade em um plano abstrato; mas que é sempre almejada dentro de um certo contexto sociopolítico. O sujeito “ideal” formado na escola é o sujeito ideal para quem? Ou para qual sistema? O cidadão ideal do mundo liberal globalizado não é o mesmo cidadão ideal da democracia participativa (PINHÃO; MARTINS, 2016). Por isso, a questão *ontológica* da educação é obrigatoriamente também *política*¹, pois o ser ideal, o é para uma determina visão e projeto de mundo e de sociedade. Se quisermos refletir sobre qual educação queremos proporcionar, precisamos partir, primeiramente, de um reconhecimento preciso do cenário em que nos encontramos e dos possíveis cenários ou caminhos que pretendemos construir.

Pelo menos desde a década de noventa, com a queda do muro de Berlim, e, por consequência, com o fim da disputa sobre o modelo socioeconômico desejável no plano geopolítico, período chamado por alguns de “o fim da história” (FUKUYAMA, 1989), testemunhamos – no contexto global – um avanço acelerado do ideal liberal e global, sob a promessa de um enriquecimento generalizado das nações (LATOURE,



2020a) – usualmente atado a uma concepção de progresso linear, em que ciência e tecnologia, representadas em sua suposta neutralidade, desempenham um papel de motor do progresso (AULER, 2018).

Por outro lado, os estudos sobre a mutação climática (JUNGES; MASSONI, 2018; LATOUR, 2020b) e a experiência do alargamento das desigualdades sociais (UNO, 2006) (bem como os consequentes problemas territoriais gerados no mundo todo) gerou, nos últimos anos, um processo de desconfiança e, até mesmo, repulsão às promessas globalizantes – sinalizando um forte resgate do ideal *local* (o muro entre EUA e México bem como o Brexit são exemplos disso) (LATOUR, 2020a).

Naturalmente, tal repúdio ao ideal global se traduziu também como uma aversão aos ideais universais da ciência bem como à promessa de promoção de bem-estar social, iniciando um forte período de negação do conhecimento científico, de ataque às instituições acadêmicas, e de competição entre narrativas artificiais e os resultados científicos - com claro objetivo político e econômico, o que é conhecido como *pós-verdade* (LIMA et al., 2019). Nesse sentido, a *pós-verdade* é um fenômeno epistêmico e político. Por meio dela, negam-se os consensos científicos mais bem estabelecidos a fim de garantir interesses de grupos restritos

Assim, podemos dizer que vivemos em um período de aniquilação da possibilidade de um “mundo comum” (LATOUR, 2004). Cada grupo “decide” sua verdade, sua realidade e seu mundo. Vimos tal posicionamento se manifestar na gestão da pandemia, levando ao profundo desastre em que nos encontramos (MOURA; NASCIMENTO; LIMA, 2021; SANTOS, 2020). Em especial Jasanoff et al. (2021) discutem que países divididos politicamente tiveram a pior resposta à pandemia. Para além da pandemia, os desafios da mutação climática² e das desigualdades sociais nos impõem a urgência de resgatarmos a busca da *construção de um mundo comum*, que seja habitável e respirável por todos (COSTA, 2020).

Por isso, a educação do mundo pós-pandemia, necessariamente, precisa ser uma prática capaz de mobilizar os sujeitos em direção à construção de tal mundo. Ela deve ser engajada, ativa e engajada na prática coletiva concreta (BENCZE; ALSOP, 2014). Essa mobilização é necessariamente política, visto que afeta o mundo compartilhado, nossa “polis”. Entretanto, a política do mundo contemporâneo é diferente daquela pensada na teoria clássica.

Enquanto política, usualmente, trata das relações de força entre humanos, a conjuntura atual nos permite entender que tanto humanos quanto não-humanos

afetam as relações de poder, bem como são afetadas por ela. A política não é um assunto somente do âmbito da cultura, mas também perpassa a natureza (LATOUR, 2013). Existem vários exemplos em que elementos naturais também encontram seu local no campo da cultura (DESCOLA, 2016) e, hoje, “elementos naturais” possuem direitos garantidos por lei (CAPRA; MATTEI, 2018) bem como afetam a ordem jurídica (JASANOFF, 2007).

Em tal contexto, podemos pensar em termos de uma cosmopolítica³ (LATOUR, 2004; STENGERS, 2010, 2018). Educar no mundo pós-pandemia significará, se quisermos viver em um mundo habitável, mobilizar os sujeitos em direção à construção do mundo comum mais justo. Uma vez que os embates e dilemas atuais são cosmopolíticos, entender e se posicionar sobre eles demanda, ao mesmo tempo, consciência sobre as diferentes dimensões sociais e políticas que perpassam as questões sociocientíficas bem como apropriação sobre conceitos científicos que nele estão sendo mobilizados. Por exemplo, na pandemia, experienciamos questões que são ao mesmo tempo científicas e políticas (MOURA; NASCIMENTO; LIMA, 2021).

Isso significa que esperamos do “cidadão do mundo pós-pandemia”⁴, ao se engajar na construção do mundo, que saiba mais “sobre” ciência (sobre natureza da ciência); mas, também, saiba ciência (seus conteúdos) (HODSON, 1994). Tal esforço deve ser empreendido dentro de uma proposição que, intencionalmente, busque a construção de um mundo comum mais justo (LIMA; NASCIMENTO, 2019; 2021; YACOUBIAN; HANSSON, 2020).

No presente trabalho, gostaria de apresentar duas teses: a primeira é que a inserção de História, Filosofia e Sociologia (HFS) das Ciências na Educação em Ciências pode ser uma forma potente de educação para a construção do mundo comum mais justo; a segunda é que as diferentes tendências historiográficas, filosóficas e sociológicas – usualmente vistas como concorrentes ou excludentes – podem ser interpretadas como complementares no espaço pedagógico – uma vez que lançam luz sobre diferentes dimensões da natureza científica e viabilizam o domínio de diferentes práticas e instrumentos que são necessários para a construção do mundo comum. Nesse sentido, podemos superar as proposições normativas, dominantes na literatura, como discutem Moura, Guerra e Camel (2020) e avançar no sentido de valorizar a autonomia docente (CONTRERAS, 2012) e a pluralidade conceitual e epistemológica.



Para tanto, na seção dois, apresento, em linhas gerais, uma categorização das principais tendências em HFS usadas na pesquisa em educação em ciências (a dizer, perspectivas que enfatizam aspectos epistêmicos, perspectivas que enfatizam aspectos sociológicos em uma perspectiva estruturalista e perspectivas pós-estruturalistas). Na seção três, discuto as potencialidades pedagógicas. Na seção quatro, retomo a discussão sobre cosmopolítica e conecto essa proposição com as discussões realizadas na seção anterior. Por fim, na seção cinco, apresento algumas considerações finais e proposições para a área de educação em ciências.

Tendências Historiográficas, Epistemológicas e Sociológicas no Ensino de Ciências

Existem diferentes vertentes e escolas no campo da história, da epistemologia e da sociologia das ciências. Podem-se mapear tais perspectivas também de muitas formas, dependendo dos critérios que são utilizados. Nessa seção, pretendo apresentar uma possível forma de classificação, não querendo, com isso, exaurir o tema. Existem excelentes obras dedicadas à análise da historiografia da ciência (KRAGH, 1987). Em especial, para esta categorização, parti das discussões feitas por Videira (2007), Latour (2013), Silva (2010), e Lima, Rosa e Bento (2020) – tendo já em perspectiva, justamente, a possibilidade de aproximar tais tendências de discussões pedagógicas.

Devo ressaltar, entretanto, que, ao categorizar movimentos ou tendências filosóficas, essa é sempre uma ação aproximada. Dificilmente, algum autor ou mesmo uma obra se adequará perfeitamente em uma categoria proposta. Assim, ao invés de pensar as categorias como se pudéssemos separar nitidamente autores e obras dentro delas, considero proferível pensá-las em termos de “atratores” (para usar um termo de Latour (2020a). Isto é, ao olhar para uma obra ou uma narrativa histórica, podemos nos questionar de qual categoria ela se aproxima, por qual ela se atrai. É possível que algumas narrativas apresentem características de mais de uma categoria.

Mesmo com essas ressalvas, entendo que o uso de categorias pode ser benéfico, pois ele ajuda a criarmos um mapa dentro de um quadro teórico mais amplo. Ainda que não seja preciso, por meio das categorias, podemos entender diferenças importantes entre diferentes movimentos historiográficos, filosóficos e sociológicos

reconhecendo seus diferentes compromissos epistemológicos e sociológicos. Por isso, trarei alguns exemplos dentro de cada categoria, buscando indicar que obras se aproximam mais da imagem conceitual que estamos propondo. Embora os exemplos sejam principalmente relacionados à Física, as categorias podem ser utilizadas para as ciências em geral.

Por fim, devo mencionar que não estão presentes, nessas categorias, as narrativas consideradas pseudo-históricas (ALLCHIN, 2004) – as quais apresentam a história da ciência por meio de uma perspectiva mítica. Usualmente, as narrativas históricas encontradas em livros didáticos aproximam-se da visão pseudo-histórica, em que, até mesmo, elementos fundamentais das fontes primárias são negados ou transformados para encaixar em uma visão linear de ciência (CHAIB; ASSIS, 2007; LIMA; OSTERMANN; CAVALCANTI, 2017).

Tendências que enfatizam fatores epistêmicos

Pesquisas que enfatizam fatores epistêmicos são aquelas que enfatizam os aspectos da própria prática científica (no laboratório ou no desenvolvimento teórico) para narrar o desenvolvimento científico, não enfatizando de forma substancial os aspectos sociais, políticos, linguísticos, materiais que contingenciaram tal processo. Quando os historiadores, por exemplo, se debruçam sobre fontes históricas primárias, buscando explicar os passos adotados pelos cientistas, discutindo, por exemplo, a relação entre os argumentos matemáticos e os resultados empíricos, temos um exemplo dessa primeira abordagem. A proposta de Lakatos (1978), com a reconstrução racional da ciência, pode ser considerada um exemplo. Nesse caso, narra-se o desenvolvimento científico pelo ganho de conteúdo empírico de determinados programas de pesquisa e o abandono de outros programas por sua degeneração, com o acréscimo de hipóteses *ad hoc*.

Poderiam ser classificadas nessa categoria, também, trabalhos que tratam de aspectos filosóficos, prioritariamente epistêmicos, avaliando se a perspectiva de um trabalho histórico se aproxima ou diverge de determinada visão filosófica. As narrativas de Max Jammer (1974; 1989) ou Thomas Kuhn (1978) sobre Teoria Quântica, bem como as “história dos conceitos” (história da massa, história da energia, história da entropia, etc.) podem ser classificadas nessa primeira tendência. O objeto da pesquisa é o conceito científico e, por consequência, suas origens e desenvolvimento.



É possível afirmar que, de uma forma geral, os trabalhos da primeira categoria aproximam-se de uma perspectiva epistemológica que assume a existência de uma linha demarcatória clara entre o que é ciência e o que não é ciência, e adotam critérios epistêmicos para fazer tal demarcação. Filosofias como a de Popper (2002), Lakatos (1978), Bunge (1973) se enquadram dentro dessa perspectiva.

Embora os elementos sociológicos não apareçam, usualmente, nessas descrições, isso não significa que tais pesquisas não se comprometam com uma certa visão de sociedade, ou uma determinada sociologia. Em especial, assumindo que é possível falar da descrição da natureza independentemente da estrutura social, podemos entender que há um alinhamento com a noção de que natureza e sociedade são polos ontológicos totalmente disjuntos (LATOURET, 2013), e que, portanto, a sociologia trata de uma “dimensão” (a sociedade) totalmente independente da natureza, concepção consistente com a sociologia de Durkheim (1982), por exemplo.

Tendências que enfatizam aspectos sociológicos a partir de uma perspectiva Estruturalista

Em uma segunda categoria, podemos classificar os trabalhos que enfatizam aspectos sociológicos a partir de uma perspectiva estruturalista. Tais enunciados enfatizam a dimensão social da ciência, discutindo como a sociedade impacta a comunidade e o conhecimento científico. Ao fazer tal descrição, ademais, adotam uma perspectiva estruturalista seja para falar da dimensão social ou para narrar o próprio desenvolvimento científico.

A discussão de Hessen (2009), por exemplo, sobre as raízes econômicas e sociais do Principia de Newton pode ser mencionada como um trabalho que se aproxima dessa segunda categoria. Em tal descrição, Hessen parte de uma concepção dialética materialista e da concepção marxista de processo histórico para analisar os trabalhos de Newton. O que caracteriza tal trabalho como “sociológico” é o fato de que ele busca na sociedade e na economia as causas do desenvolvimento científico. E o que o caracteriza como estruturalista é o fato de ele partir de uma visão estrutural de desenvolvimento histórico a partir da luta de classes. Nesse sentido, há uma estrutura bem definida para a sociedade bem como para onde a história deve se mover. Adota, portanto, um modelo social “arbóreo” para usar um termo de Deleuze e Guattari (1972).

Outro exemplo de trabalho que se aproxima da segunda categoria é a discussão de Shapin e Schaffer (1985) sobre os embates entre Boyle e Hobbes. Como aponta Latour (2013), neste trabalho os autores evidenciam como práticas e valores naturalizados na ciência foram construídos historicamente, mas não adotam a mesma visão “construtivista” para falar da sociedade, assumindo sua estrutura como real. Assim, os autores adotam, novamente, uma perspectiva sociológica (a fonte da explicação é a sociedade) e estruturalista (reificando estruturas sociais).

Do ponto de vista da epistemologia da ciência, a emblemática obra de Thomas Kuhn (1996), *A Estrutura das Revoluções Científicas* pode ser entendida como pertencente a essa segunda categoria. A obra de Kuhn é “sociológica” pois o desenvolvimento científico não é narrado a partir de um critério epistemológico propriamente, mas pela disputa paradigmática. Ela é estrutural, pois como o próprio título aponta, Kuhn define uma estrutura para o desenvolvimento científico.

Por fim, podemos pensar em dois movimentos sociológicos compatíveis com essa categoria. O primeiro seria a “sociologia dos cientistas”, em que Bourdieu (1976), por exemplo, propõe a noção de campo científico. Um segundo movimento, o chamado Programa Forte da Sociologia (BLOOR, 1991), avança no sentido de uma sociologia do conhecimento científico, assumindo que não somente os cientistas são contingenciados por questões sociais, mas que o próprio conhecimento científico é uma construção social.

Tendências Pós-Estruturalistas

A última categoria proposta engloba as tendências pós-estruturalistas. Novamente, dentro dessa categoria, podemos encontrar diferentes movimentos, com diferentes compromissos teóricos, os quais concordam, entretanto, em não reificar ou fixar uma estrutura para a ciência ou para o desenvolvimento científico. Nesse sentido, as próprias delimitações entre natureza e sociedade podem ficar difusas, como argumenta Phelippe Descola (2016).

Uma primeira perspectiva que se aproxima de tal tendência é o que chamamos de desconstrutivismo (DERRIDA, 1997), aproximando-se de propostas que tendem a reduzir a natureza e a sociedade a fenômenos internos do próprio discurso, como o faz Foucault (2018). Nesse caso, nem a Natureza pode ser encontrada “lá fora”, tão pouco as estruturas de poder seguem uma ordem social distinta e bem demarcada.



As relações se tornam menos hierarquizáveis e se distribuem em redes de relações, ou como Deleuze e Guattari (1972) propõem, em rizomas. Nesse sentido, de uma forma geral, as visões desconstrutivistas, também são associadas ao pós-modernismo (LOPES, 2013).

Uma segunda perspectiva que pode se aproximar à tendência pós-estruturalista é a chamada Histórica Cultural da Ciência (LIGHTMAN, 2016) – a qual enfatiza os meios materiais e culturais pelos quais a ciência se desenvolve. Diferentemente das tendências internalistas, que narram a história de conceitos, a história cultural preocupa-se em discutir a história dos instrumentos, das comunidades científicas, dos periódicos, dos meios de comunicação científica de uma forma geral, dos livros, das profissões associadas às ciências, dos personagens que foram apagados pela história hegemônica. Usualmente, está mais centrada em estudos de episódios específicos e, por isso, também perde de vista a noção estrutural da segunda tendência.

Uma terceira tendência, historicamente muito próxima à História Cultural (MOURA *et al.*, 2019) são os *Science Studies* (Estudos das Ciências), principalmente, aqueles comprometidos com o que ficou conhecido como “virada ontológica da Antropologia” (HOLBRAAD; PEDERSEN; CASTRO, 2014; KOHN, 2015). De acordo com essa perspectiva, a modernidade é construída a partir de uma construção metafísica que separa, no seu discurso, de forma absoluta natureza e sociedade, enquanto, em sua prática, segue hibridizando elementos de ambos polos ontológicos (LATOURE, 2013). Assim, nessa perspectiva, propõe-se olhar para a ciência e sua história a partir de uma outra metafísica, para a qual a própria realidade é uma característica relativa. Essa construção pode ser pensada a partir da metafísica processual de Whitehead (1978), da sociologia monadal de Gabriel Tarde (2007) e da noção de rizoma para Deleuze e Guattari (1972), como discutem, por exemplo, Bruno Latour (2001, 2005, 2017) e Isabelle Stengers (2010; 2020).

Por borrar as demarcações entre o social e o natural, a virada ontológica da antropologia adota uma sociologia entendida como o estudo das relações (e não estudo de uma dimensão especificamente humana), o que Latour chama de sociologia 1D (unidimensional) (LATOURE *et al.*, 2012). Assim, a visão sociológica adotada nessa perspectiva concorre com a visão social de Durkheim. Social é tudo aquilo que é relacional. Ademais, todo elemento já é em si uma sociedade (TARDE, 2007).

Apesar de defender a noção de que a realidade é relacional, assumindo, portanto, a co-existência de diferentes realidades, ou pluriverso (LATOURE, 2004), o

que pode ser entendido como uma perspectiva multinaturalista (CASTRO, 2018) (e não apenas multiculturalista), Latour (1999) defende que essa não é uma visão relativista, visto que as diferentes realidades não possuem o mesmo “tamanho” ou mesmo envelope espaço-temporal de validade. Assim, seria possível hierarquizar diferentes perspectivas (LATOUR, 2013).

O próprio Latour possui narrativas históricas que adotam essa perspectiva, como seus estudos sobre os micróbios de Pasteur (LATOUR, 1988), assim como a Isabelle Stenger possui sua narrativa sobre a História da Física (STENGERS, 2010). Um historiador contemporâneo que, também, dialoga com as questões “ecológicas”, que borram as distinções entre natureza e cultura é o historiador indiano Chakrabarty (2009), como discute Kohn (2015). Em um artigo, recente, também discutimos a implicação dessa visão para a história da Física e trouxemos um exemplo para o caso da articulação do Princípio da Incerteza (LIMA; ROSA; BENTO, 2020).

Potencialidades Pedagógicas das Diferentes Tendências

Na seção 2, discutimos algumas tendências na História, Filosofia e Sociologia da ciência, buscando explicitar seus diferentes compromissos teóricos. A pergunta que buscaremos responder, nessa seção, é quais as potencialidades pedagógicas de cada tendência. Isto é, para que fins educacionais cada tendência supracitada pode ser mobilizada.

Neste momento, entramos na questão “ontológica-política” da Educação. Quem queremos que os alunos se tornem e, para isso, por que experiências queremos que eles passem? As diferentes tendências histórico-epistemológicas enfatizam diferentes aspectos da ciência, valorizam diferentes visões de sociedade e, portanto, impactam diferentemente nas possibilidades de construir o mundo. Isso poderia ser suficiente para pensarmos que tais visões necessariamente antagonizam e concorrem entre si. Por outro lado, a partir de uma perspectiva cosmopolítica, o processo de criação do mundo comum demanda justamente o diálogo entre o maior número de perspectivas diferentes. O mundo comum é algo a ser criado e, por isso mesmo, a diversidade significa ganho de complexidade e possibilidade de agência na construção desse mundo.

Nessa seção, pretendo, portanto, argumentar em favor das três perspectivas de História, Filosofia e Sociologia apresentadas, mostrando como cada uma contribui



para a atividade pedagógica, sugerindo aproximações que parecem mais facilmente “atrativas”. Isso não significa, claramente, que as aproximações devem se limitar a essas sugestões.

Se o objetivo pedagógico de uma atividade didática é, principalmente, que os alunos ganhem domínio sobre determinado conhecimento científico (isto é, sobre os meios de representação semiótico associados a um conceito específico), entendendo como ele funciona, com que outros conceitos se relaciona, e como ele pode ser adotado para interpretar fenômenos naturais, sem se preocupar em discutir relações mais amplas com a sociedade, as tendências que enfatizam aspectos epistêmicos podem contribuir para tais objetivos⁵.

Em especial, há muito tempo se reconhece que uma das principais dificuldades no aprendizado das ciências diz respeito à atribuição de um significado aos conceitos e ao formalismo abstrato utilizados (PIAGET, 1976). Muitas vezes, mesmo em cursos avançados, os alunos dominam as ferramentas matemáticas, sabem resolver problemas, mas têm dificuldade em atribuir significado ao que estão resolvendo e às soluções que estão encontrando (MARSHMAN; SINGH, 2017).

Nesse sentido, as discussões epistemológicas podem contribuir muito para o aprendizado de ciências. É possível, por meio delas, resgatar o que estava sendo discutido na gênese do conceito, quais eram as disputas, quais eram os problemas e objetivos a serem alcançados, bem como quais elementos teóricos e empíricos foram necessários para que chegássemos até a concepção contemporânea sobre o que está sendo apresentado. Ao fazer isso, conseguimos justamente prover significado e sentido para a discussão conceitual e abstrata. Conectamos o conceito em sua rede e permitimos que ele seja compreendido em seu processo histórico. Não somente isso, mas a apresentação de uma narrativa orientada à dimensão epistemológica também contribui para superação de uma visão de senso comum da ciência, na medida em que apresentamos a complexidade do processo de desenvolvimento pelo qual os conceitos passam, a contribuição coletiva (e não de um gênio individualmente) para esse processo, e a importância das conjecturas, passos criativos e erros no processo científico.

Por outro lado, as chamadas pedagogias críticas (SILVA, 2010), muitas vezes, chamam atenção para a necessidade de olharmos para as ciências e para a história a partir de suas relações concretas com a sociedade, enfatizando, em especial, como esses temas se entrelaçam com nossa organização social, podendo, inclusive,

ser tensionados em um projeto de construção de um mundo mais igualitário. É o que se busca, por exemplo, na proposta de uma educação emancipadora (FREIRE, 2013). A segunda tendência de HFS apresentada dialoga diretamente com essa proposta, muitas vezes, compartilhando das mesmas bases teóricas e políticas. A história social permite que identifiquemos e entendamos a relação entre as diferentes esferas da sociedade e seu impacto sobre a ciência, bem como o impacto do empreendimento científico sobre a organização social. Qual a relação entre nosso sistema econômico e a ciência que temos hoje? Como a organização política em um determinado momento impactou ou foi impactada pela ciência? Quais foram ou quais são os compromissos sociais de diferentes comunidades científicas? Essas são algumas questões que podem lançar luzes sobre o processo histórico da ciência a partir de uma perspectiva social, permitindo-nos pensar sobre nosso desenvolvimento histórico, principalmente, para refletir sobre o presente de forma crítica. Nesse sentido, a segunda tendência pode ser muito profícua no sentido de evidenciar a dimensão social da ciência, sua não-neutralidade, bem como permitir que se discuta o chamado mito da linearidade (AULER; DELIZOICOV, 2001). Nesse sentido, deve-se enfatizar que, nas pedagogias críticas, os conceitos científicos continuam sendo importantes, ainda que sejam colocados dentro de um cenário mais complexo. Assim, apresentar a história social não significa renunciar à discussão interna, mas simplesmente chamar atenção para outros elementos.

Por fim, em proposições pedagógicas pós-críticas (SILVA, 2010), as quais trasladam a atenção das estruturas sociais bem definidas para uma compreensão mais localizada e não hierarquizada das relações de poder, os objetos de discussão aproximam-se de questões identitárias, de gênero, étnico-raciais, perpassam a discussão pós-colonialista e os chamados estudos culturais de uma forma geral (SILVA, 2010).

Por esse motivo, a terceira tendência apresentada, evidentemente, apresenta um grande potencial de aproximação com as pedagogias pós-críticas. Por meio da história cultural da ciência podem-se discutir personagens apagados da história tradicional bem como reconhecer o valor de conhecimentos elaborados em contextos usualmente pensados como distantes do empreendimento científico, para, então, se pensar sobre situações análogas vivenciadas na contemporaneidade.



Em busca da pluralidade para a construção um mundo comum

Como discutimos, a cosmopolítica envolve o processo de construção do mundo comum. Esse mundo comum ainda não existe, mas está por ser construído. Os modelos, discursos e estruturas que nos trouxeram até a situação em que nos encontramos não nos levarão, sem esforço, para um mundo diferente do que já temos. As desigualdades sociais e a mutação climática apontam de forma nítida as limitações da nossa forma de produção material e simbólica. Isso não significa, entretanto, que devemos desprezar ou abandonar as produções culturais e materiais desenvolvidas até aqui.

Algumas tendências das perspectivas críticas e pós-críticas podem tender a desvalorizar os empreendimentos intelectuais desenvolvidos na sociedade moderna, justamente por terem sido alinhados a projetos políticos excludentes. Entretanto, como aponta Auler (2018), ainda que conhecimentos e tecnologias não sejam neutros, eles podem ser tensionados e ressignificados em direção a um projeto emancipatório – perspectiva denominada de adequação sociotécnica. É nesse sentido, por exemplo, que Boaventura de Sousa Santos (2019) entende as produções científicas e tecnológicas como participantes potenciais de uma ecologia de saberes, desde que estejam alinhadas com uma visão de justiça social e cognitiva. Essa visão intermediária entre uma total neutralidade e uma total autonomia científico-tecnológica também é defendida por Latour (2017).

A partir da proposição cosmopolítica, reconhecemos que vivemos em uma sociedade extremamente complexa, em que natureza e sociedade encontram-se profundamente hibridizados, e em que os impactos das produções humanas se estendem para além do que podemos imaginar ou esperar, o que nos leva à noção de uma sociedade risco (PIETROCOLA et al., 2021). Para construirmos um mundo comum habitável e justo, precisamos de uma visão política coletiva, crítica, emancipatória, mas precisamos também ter uma concepção profunda e séria sobre a ciência e a tecnologia. Isso significa entender suas relações com a estrutura econômica e social, com as diferentes formas de discurso e identidade que perpassam nossa cultura; mas significa também entender os conceitos científicos, entender a tecnologia, os objetos dos quais a ciência fala; pois são esses “atores” que povoam o mundo cosmopolítico em que nos encontramos.

Olhar para o cosmos sem preocupação política pode implicar a agudização da crise ambiental em que nos encontramos. Mas tentar fazer política sem levar conosco o cosmos também não nos permitirá chegar no coração dos dilemas contemporâneos (LATOURE, 2004; STENGERS, 2018). A pandemia evidenciou de forma muito explícita o cenário complexo e perigoso em que nos encontramos. Cabe a nós, diante dele, construir ou não o mundo comum. Para tanto, precisamos da ciência e da tecnologia, precisamos das discussões da crítica, e precisamos do olhar complexo que a discussão pós-crítica pode nos trazer.

A partir desse diálogo plural, complexo, incessante, possibilidades de mundos habitáveis podem ser construídas. É necessário ampliar o diálogo e conciliar divergências como ganho de complexidade (LIMA; NASCIMENTO, 2019; 2021), para que juntos possamos construir um coletivo sociedade-natureza que seja viável.

É a partir da busca dessa pluralidade, necessária e urgente, que as diferentes tendências de História, Filosofia e Sociologia apresentadas ganham sentido e potência. Dentro de um projeto e compromisso cosmopolítico mais amplo, as diferentes perspectivas apresentadas podem se transformar em aliadas em um projeto de ação no mundo. É nessa busca que propõe Latour uma reorganização do mapa político tradicional, do qual precisamos buscar aliados em lados tradicionalmente considerados antagônicos (LATOURE, 2020a; LIMA; NASCIMENTO, 2021).

Considerações Finais: caminhos concretos para o mundo comum

Entendendo a educação como um processo ontológico-político, parti de uma breve apresentação do cenário contemporâneo para trazer a ideia de que vivemos em um coletivo altamente hibridizado, cujos dilemas e desafios nos obrigam a atuar na construção de um mundo comum. Essa construção, entendida nos termos de uma cosmopolítica, nos exige uma profunda reflexão social e política bem como um sólido conhecimento da ciência e de sua história.

Defendi, no artigo, duas teses. A primeira é que a inserção de História, Filosofia e Sociologia na educação em ciências pode ser uma forma potente de contribuir nessa ação cosmopolítica. A segunda é que as diferentes tendências não precisam ser vistas como concorrentes, mas complementares, e têm contribuições importantes para o cenário em que vivemos. Nesse sentido, apresentei três categorias principais



(seção 2) e as aproximei de diferentes tendências pedagógicas (seção 3), ressaltando suas contribuições no campo didático. No fim, reforcei a importância da pluralidade e da conjugação dessas diferentes tendências no processo cosmopolítico (seção 4).

Qual é o caminho para se fazer isso? Como podemos começar a construção do mundo comum? Uma vez que nossa preocupação é referente ao coletivo, essa proposição não pode ser entendida como uma ação individual. Uma pessoa não pode sozinha construir o mundo comum. Ela pode, é claro, mudar sua prática pedagógica e isso terá algum impacto no mundo. Mas diante da dimensão dos desafios que se apresentam, somente integrados em comunidades fortes, amplas, atuantes, teremos possibilidade de vislumbrar e implementar soluções complexas o suficiente para transformar o cenário atual. Isso significa que a nossa ação pedagógica deve vir acompanhada de um comprometimento político mais amplo.

É necessário que fortaleçamos as associações, sociedades científicas e grupos de pesquisa. É preciso valorizar e investir em nossos periódicos, boletins, encontros, conferências. É necessário garantir e assegurar os espaços materiais e virtuais de diálogo já existentes bem como criar e ampliar novos mecanismos de comunicação. Por fim, será necessário ressignificar a relação entre a academia e a sociedade de uma forma mais ampla de forma a garantir uma maior vascularização tanto no sentido de levar os resultados científicos para a sociedade bem como para levar as demandas da sociedade para os espaços de pesquisa. É somente por meio de uma rede altamente vascularizada que uma nova realidade poderá ser construída.

Espero, com esse trabalho, ter contribuído apresentando algumas reflexões e inquietações bem como delineando possibilidades de atuação e pesquisa. Espero que essa discussão seja entendida como um convite para a ampliação e o fortalecimento do debate, para a promoção de novas parcerias, bem como para a conciliação de visões, usualmente, concorrentes em busca de uma ideal maior e mais urgente. A Educação é, como disse no início do texto, um processo de transformação. Cabe a nós, por meio da educação, articular o mundo comum em que pretendemos viver.

Plural histories for the construction of a common world: how History, Philosophy and Sociology of Sciences in Science Education can contribute to the construction of the Post-Pandemics world

Abstract

We live in a world of deep hybridization between nature and society. On the one hand, human action directly affected and affects the constitution of the planet itself, giving rise, for some, to the beginning of a new time, the Anthropocene. On the other hand, non-human agents, such as viruses, impact elections, the economy and the way people live. Such interrelations motivate the proposition of a cosmopolitics. It is through cosmopolitics that we can collectively build a common world that is fairer and more viable for everyone. This process, however, is extremely complex and demands knowledge and practices from different fields of human activity. The first objective of this work is to discuss the notion that the insertion of History, Philosophy and Sociology (HPS) of Sciences in Science Education can be a powerful form of education for the construction of a fairer common world. The second objective is to propose the interpretation that different historiographic, philosophical, and sociological trends – usually seen as competing or excluding – can be interpreted as complementary in the pedagogical space, so that theoretical plurality is a necessary path for the common world.

Keywords: History, Philosophy and Sociology of Science; Cosmopolitics; Science Studies

Referências

- ALLCHIN, D. Pseudohistory and Pseudoscience. **Science & Education**, v. 13, n. 3, p. 179–195, 2004.
- AULER, D. **Cuidado! Um cavalo viciado tende a voltar para o mesmo lugar**. Curitiba: Appris, 2018.
- AULER, D.; DELIZOICOV, D. Alfabetização científico-tecnológica pra quê? **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 3, n. 1, p. 122–134, 2001.
- BENCZE, L.; ALSOP, S. **Activist Science and Technology Education**. Berlin: Springer, 2014.
- BLOOR, D. **Knowledge and Social Imagery**. Chicago: The University of Chicago Press, 1991.
- BOURDIEU, P. Le Champ Scientifique. **Actes de la Recherche en Sciences Sociales**, v. 2, n. 2–3, p. 88–104, 1976.
- BUNGE, M. **Filosofia da Física**. Lisboa: edições 70, 1973.
- CAPRA, F.; MATTEI, U. **A Revolução Ecojurídica: O Direito Sistêmico em Sintonia com a Natureza e a Comunidade**. São Paulo: Cultrix, 2018.
- CASTRO, E. V. de. **Metafísicas Canibais: elementos para uma antropologia pós-estrutural**. São Paulo: Ubu, 2018.



CHAIB, J. P. M. C.; ASSIS, A. K. T. Distorção da obra eletromagnética de Ampère nos livros didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 65-70, 2007.

CHAKRABARTY, D. The Climate of History: Four Theses. **Critical Inquiry**, v. 35, n. 2, p. 197–222, 2009.

CONTRERAS, J. **A Autonomia de Professores**. São Paulo: Cortez, 2012.

COSTA, A. de C. Aqui quem fala é da Terra. In: LATOUR, Bruno. **Onde Aterrorar?** Como se posicionar politicamente no Antropoceno. Rio de Janeiro: Bazar do Tempo, 2020.

DELEUZE, G.; GATTARI, F. **Capitalisme et schizophrénie. L'anti-Œdipe**. Paris: Les Éditions de Minuit, 1972.

DERRIDA, J. **Of Grammatology**. Baltimore: The John Hopkins University Press, 1997.

DESCOLA, P. **Outras Naturezas, Outras Culturas**. São Paulo: Editora 34, 2016.

DURKHEIM, E. **The rules of sociological method**. New York: The Free Press, 1982.

FOUCAULT, M. **Microfísica do Poder**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2018.

FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. Rio de Janeiro: Terra e Paz, 2013.

FUKUYAMA, F. The End of History? **The National Interest**, n. 16, p. 3–18, 1989.

HESSEN, B. The Social and Economic Roots of Newton's Principia BT - The Social and Economic Roots of the Scientific Revolution: Texts by Boris Hessen and Henryk Grossmann. In: FREUDENTHAL, G.; MCLAUGHLIN, P. (org.). Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. p. 41–101.

HODSON, D. Seeking Directions for Change: the personalisation and politicisation of science education. **Curriculum Studies**, v. 2, n. 1, p. 71–98, 1994.

HOLBRAAD, M.; PEDERSEN, M. A.; CASTRO, E. V. **The Politics of Ontology**: Anthropological Positions, 2014. Disponível em: <https://culanth.org/fieldsights/the-politics-of-ontology-anthropological-positions>. Acesso em: 7 jul. 2021.

JAMMER, M. **The Philosophy of Quantum Mechanics**. New York: John Wiley and Sons, 1974.

JAMMER, M. **The Conceptual Development of Quantum Mechanics**. New York: American Institute of Physics, 1989.

JASANOFF, S. **Designs on Nature: Science and Democracy in Europe and the United States**. Princeton: Princeton University Press, 2007.

JASANOFF, S. **Comparative Covid Response: Crisis, Knowledge, Politics**. Princeton: 2021.

JEONG, S.; SHERMAN, B.; TIPPINS, D. J. The Anthropocene as we know it: posthumanism, science education and scientific literacy as a path to sustainability. **Cultural Studies of Science Education**, 2021.

JUNGES, A.; MASSONI, N. T. O Consenso Científico sobre Aquecimento Global Antropogênico: Considerações Históricas e Epistemológicas e Reflexões para o Ensino dessa Temática. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 2, p. no prelo, 2018.

KOHN, E. Anthropology of Ontologies. **Annual Review of Anthropology**, v. 44, n. 1, p. 311–327, 2015.

- KRAGH, H. **An Introduction to the historiography of science**. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- KUHN, T. **Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894-1912**. Oxford: Oxford University Press, 1978.
- KUHN, T. **The structure of Scientific Revolutions**. Terceira ed. Chicago: The University of Chicago Press, 1996.
- LAKATOS, I. **The Methodology of Scientific Research programmes**. Cambridge: Cambridge University Press, 1978.
- LATOUR, B. **The Pasteurization of France**. Massachussets: Harvard University Press, 1988.
- LATOUR, B. **Pandora's Hope: Essays on the reality of Science Studies**. Cambridge: Harvard University Press, 1999.
- LATOUR, B. Gabriel Tarde and the End of Sociocultural. In: JOYCE, P. (org.). **The Social in Question. New Bearings in History and the Social Sciences**. London: Routledge, 2001. p. 117-132.
- LATOUR, B. Whose Cosmos, which Cosmopolitics? **Common Knowledge**, v. 10, n. 3, p. 450-462, 2004.
- LATOUR, B. **Reassembling the Social: An Introduction to Actor Network Theory**. Oxford: Oxford University Press, 2005.
- LATOUR, B. *et al.* "The whole is always smaller than its parts" - a digital test of Gabriel Tardes' monads. **British Journal of Sociology**, v. 63, n. 4, p. 590-615, 2012.
- LATOUR, B. **Jamais Fomos Modernos**. São Paulo: Editora 34, 2013.
- LATOUR, B. **A Esperança de Pandora - Ensaios sobre a Realidade dos Estudos das Ciências**. São Paulo: Editora da UNESP, 2017.
- LATOUR, B. **Onde Aterrar? Como se orientar politicamente no Antropoceno?** Rio de Janeiro: Bazar do Tempo, 2020a.
- LATOUR, B. **Diante de Gaia - oito conferências sobre a natureza no antropoceno**. São Paulo: Editora Ubu, 2020 b.
- LIGHTMAN, B. (org.). **A Companion to the history of science**. Oxford: Wiley, 2016. *E-book*.
- LIMA, N. W. et al. Educação em Ciências nos Tempos de Pós-Verdade: Reflexões Metafísicas a partir dos Estudos das Ciências de Bruno Latour. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 19, p. 155-189, 2019.
- LIMA, N. W.; NASCIMENTO, M. M. Nos Becos da Episteme: Caminhos confluentes para uma contra colonização didática em meio à crise da verdade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 589-598, 2019.
- LIMA, N. W.; NASCIMENTO, M. M. Aterrando no Sul: uma proposta político-epistemológica para a área de educação em ciências do Antropoceno. **Ciência & Educação**, v. no prelo, 2021.
- LIMA, N. W.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. de H. Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM 2015. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 435-459, 2017.



LIMA, N. W.; ROSA, G. G.; BENTO, M. R. Translations, Betrayals and Controversies in the Articulation of The Uncertainty Principle: Potentialities and Challenges of a Symmetrical History of Physics. **Transversal - International Journal for the Historiography of Science**, n. 9, p. 1–19, 2020.

LOPES, A. R. C. Teorias Pós-Críticas, Política e Currículo. **Educação, Sociedade e Culturas**, v. 39, p. 7–23, 2013.

MARSHMAN, E.; SINGH, C. Investigating and improving student understanding of quantum mechanics in the context of single photon interference. v. 010117, p. 1–17, 2017.

MOURA, C. B. *et al.* Articulando narrativas contra-hegemônicas sobre a ciência : uma proposta de aproximação entre a História Cultural da Ciência e a Sociologia Simétrica Articulating counter-hegemonic narratives about science : a Science and Symmetric Sociology. **XII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 1–7, 2019.

MOURA, C. B.; NASCIMENTO, M. M.; LIMA, N. W. Epistemic and Political Confrontations Around the Public Policies to Fight COVID-19 Pandemic. **Science & Education**, v. 30, p. 501-525, 2021.

MOURA, C. B. de; GUERRA, A.; CAMEL, T. A natureza da ciência pelas lentes do currículo: normatividade curricular, contextualização e os sentidos de ensinar sobre ciências. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 22, p. 1–27, 2020.

PIAGET, J. **Para Onde Vai a Educação**. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1976.

PIETROCOLA, M. *et al.* Risk Society and Science Education. **Science & Education**, v. 30, n. 2, p. 209–233, 2021.

PINHÃO, F.; MARTINS, I. Cidadania e ensino de ciências : questões para o debate. **Revista Ensaio**, v. 18, n. 3, p. 9–29, 2016.

POPPER, K. **The Logic of Scientific Discovery**. New York: Routledge, 2002.

SANTOS, B. de S. **O Fim do Império Cognitivo - A Afirmação das Epistemologias do Sul**. Belo Horizonte: autêntica, 2019.

SANTOS, B. de S. **A Cruel Pedagogia do Vírus**. Coimbra: Almedina, 2020.

SHAPIN, S.; SCHAFFER, S. **Leviathan and the Air-Pump**. Princeton: Princeton University Press, 1985.

SILVA, T. tadeu. **Documentos de Identidade: Uma Introdução às teorias do currículo**. Belo Horizonte: Autentica, 2010.

STENGERS, I. **Cosmopolitics**. Minneapolis: University of Minnesota Press, 2010.

STENGERS, I. A proposição cosmopolítica. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, n. 69, p. 442–464, 2018.

STENGERS, I. **Réactiver Le Sens Commun - Lecture de Whitehead en temps de débâcle**. Paris: La Découverte, 2020.

TARDE, G. **Monadologia e Sociologia - e outros ensaios**. São Paulo: Cosac Naify, 2007.

UNO (United Nations Organization). **Social justice in an open world: The role of the United Nations**. New York: United Nations, 2006.

VIDEIRA, A. A. P. Historiografia e História da Ciência. **Revista da Fundação casa Rui Barbosa**, n. 1, p. 111–158, 2007.

VILANOVA, R.; MARTINS, I. Individualism, instrumental reason and policy texts: some considerations from the perspective of contemporary political philosophy. **Cultural Studies of Science Education**, v. 12, n. 4, p. 835–841, 2017.

WERTSCH, J. V. **Voices of the Mind: A Sociocultural Approach to Mediated Action**. Cambridge: Harvard University Press, 1993.

WHITEHEAD, A. N. **Process and Reality: An Essay in Cosmology**. New York: The Free Press, 1978.

YACOUBIAN, H. A.; HANSSON, L. **Nature of Science for Social Justice**. Berlin: Springer, 2020.



O centenário debate sobre a interpretação e os fundamentos da Física Quântica¹

Olival Freire Junior*

Resumo

Apresentamos reflexões sobre a história da mecânica quântica, em especial do debate sobre os fundamentos e as interpretações desta teoria científica. Tais reflexões podem ser de utilidade no contexto dos preparativos para o projeto sobre o centenário da mecânica quântica, em 2025. Considerando-se a controvérsia sobre os fundamentos desta teoria como uma controvérsia também quase centenária, examinamos três aspectos: a atitude dos físicos em face da pesquisa em fundamentos da teoria quântica, a atitude dos filósofos da ciência em face da controvérsia e o papel dos experimentos na elucidação desta controvérsia. As lições que extraímos desta análise podem ser de utilidade no ensino da teoria quântica, particularmente nas primeiras etapas do contato dos estudantes com esta teoria científica.

Palavras-chave: história da Física Quântica; complementaridade; dissidentes quânticos.

Introdução

Estamos nos aproximando do centenário da mecânica quântica, tomando 2025 como o marco deste centenário, e existe, hoje, uma articulação internacional para marcar os 100 anos da mecânica quântica, o projeto Quantum Century. A Sociedade Brasileira de Física está nesse processo. Trata-se não só de comemorar o centenário da mecânica quântica, mas também de refletir sobre como, nesse século, a mecânica quântica alterou e reformatou a Física, a cultura da Física, a cultura da ciência, como uma das teorias científicas mais centrais.

* Doutor em História Social pela Universidade de São Paulo. Professor Titular da Universidade Federal da Bahia e Pesquisador CNPq na área de História da Ciência. Orcid: 0000-0003-3401-8885. E-mail: olival.freire@gmail.com

Aqui, há um jogo de palavras que o português não pega completamente, trata-se da expressão *Quantum Century*. Estamos procurando qual é a melhor expressão em português, mas o fato é que não é o centenário da mecânica quântica. É o século da mecânica quântica. Quando essas articulações tiveram início, a partir do pessoal da American Physics Society, eu mesmo disse numa das reuniões que, se fosse o centenário da mecânica quântica, seria uma festa dos alemães, porque mecânica quântica é um produto alemão. Seríamos convidados para a festa, e eles falaria algumas coisas. Mas, se é o século da mecânica quântica, aí, todo o mundo da Física, em todos os países em que a Física se desenvolveu desde então, tem o que falar. Quero correlacionar isso com a nossa temática. A mecânica quântica tem essa particularidade de que, nesses 100 anos, essa teoria reestruturou a disciplina da Física e é considerada a sua teoria mais fundamental. É uma teoria com enormes aplicações científicas e tecnológicas. O grau de confiança que os físicos têm na mecânica quântica é uma confiança que, eu diria, é quase ilimitada nesse sentido.

Contudo, nesta mesma disciplina, nesses 100 anos, temos presenciado um intenso debate, às vezes mais intenso, às vezes menos intenso, sobre os fundamentos e sobre as interpretações desta teoria física. Tomemos como referência 1927, a Conferência de Solvay de 1927. Ali, quando a mecânica quântica é apresentada formalmente, ela é elaborada e interpretada nos marcos da chamada interpretação da complementaridade. Ali, também se instaura a divisão ou a cisão ou a polêmica particularmente entre Einstein e Bohr e que durou a vida, a existência de Einstein, que vai falecer em 1955, ainda terçando armas com Bohr. E Bohr vai falecer em 1962, ainda preocupado em como, mesmo *a posteriori*, encontrar os melhores argumentos para defender a interpretação da mecânica quântica dos seus críticos.

Sobre isso que eu quero comentar nesta palestra. Mas, falar de controvérsias nas teorias científicas e da Física não é propriamente uma novidade, porque todas as grandes teorias científicas e todas as teorias da física foram elaboradas nos marcos de certas controvérsias que duraram mais ou menos. Você pega a mecânica newtoniana, ela não foi aceita de imediato. Ela teve enorme resistência dos cartesianos em particular e dos continentais em geral. E se pode dizer que foram precisos uns 40 ou 50 anos para que, finalmente, o mundo culto do que se chamava na época de Filosofia Natural, matematizada, tenha aderido à mecânica newtoniana.

Mesmo assim, aspectos da mecânica newtoniana ficaram como, para usar esta expressão, “esqueletos guardados no armário”. Foi o caso, por exemplo, da equiva-



lência entre massa inercial e massa gravitacional, ou do espaço e tempo absolutos. No século XIX, isso voltou à tona particularmente quando Ernest Mach fez um grande desafio à mecânica newtoniana. Então, controvérsias não são novidade. Com qualquer outra teoria, vamos encontrar controvérsias desse tipo. Vejamos o caso da relatividade especial. Ela aparece toda pronta nos artigos do Einstein de 1905, mas a aceitação da relatividade especial, em particular a aceitação do princípio da relatividade, foi mais ou menos demorada, variando de país para país. Na Alemanha, e graças a Max Planck, a aceitação foi imediata. Mas, se você olhar para a França, até meados dos anos 1940, a relatividade ainda não tinha chegado no ensino universitário. Então, por isso, a recepção da relatividade especial tem sido um tópico de investigação histórica. Com a relatividade geral, temos um pouco a mesma coisa. A aceitação foi mais rápida, mas os debates sobre as implicações físicas da teoria persistiram por décadas.

Então, falar de controvérsia não é o elemento novo interessante. Claro que a controvérsia da mecânica quântica tem algumas particularidades, é uma controvérsia sobre fundamentos e sobre as interpretações, mas uma particularidade importante é que é uma controvérsia que não está fechada, nós somos partícipes dessa controvérsia.

Quando eu estava na minha graduação, no meu mestrado, fiquei fascinado por esse tema. Eu, sendo professor do Instituto de Física, compreendi que estava imerso nesta controvérsia. Aliás, na minha trajetória profissional, um grande desafio, quando eu sistematizei a minha decisão de me envolver como a história da ciência, foi o de adquirir algum grau de distanciamento para permitir escrever a história, por exemplo, desse debate, dessa controvérsia. Não é a mesma coisa que você falar sobre a controvérsia sobre a recepção da relatividade especial, em que, em meados da década de 1940/1950, o assunto estava resolvido. A mecânica quântica, a interpretação de seus fundamentos, isso aí não está resolvido. Então, essa primeira particularidade é interessante.

Há uma segunda particularidade que é a seguinte: ela é uma das controvérsias, eu diria assim, mais fecundas que nós temos na história da física, na história da ciência. Fazendo uma comparação, aqui, um pouco grosseira, se você pegar a crítica do Ernst Mach ao conceito de espaço e tempo, ao conceito de inércia, presente na mecânica newtoniana, e se você força um pouco a mão, mas não muito, levando a sério a afirmação de Einstein de que ele foi muito influenciado pelas críticas de

Mach, quer dizer, a mecânica deixou de ser a sacrossanta mecânica para ele pela influência intelectual do Mach, você pode dizer, também, que a crítica de Mach teve efeito fecundo na obra do Einstein.

No caso da mecânica quântica, nós temos um efeito semelhante, só que amplificado. Hoje, se você perguntar a qualquer físico qual é o efeito físico estritamente quântico mais importante, ele vai te dizer: o emaranhamento quântico. Se você vai para o pessoal que está mexendo com uma das fronteiras da pesquisa em física, tudo que envolve informação quântica (criptografia, computação quântica), eles vão te dizer o seguinte: é o emaranhamento. O problema é que o emaranhamento é um conceito físico, um fenômeno físico, do qual hoje nós temos convicção de que é um fenômeno físico, graças a esse debate sobre a interpretação da quântica. Ele foi fruto dessa controvérsia por caminhos um pouco complicados. E Einstein foi o primeiro a ver nitidamente o problema, embora tivesse pensado que isso era uma limitação da teoria, um sinal de incompletude da teoria quântica.

Posso citar um ou dois físicos importantes: Nicolaas Van Kampen, por exemplo, holandês, uma das vezes ele disse: “mas isso está na estrutura matemática, você pega o átomo de hélio, as funções ali já estão emaranhadas”. Mas ninguém imaginava, entre 1927 e 1935, que aquele emaranhamento na descrição dos dois, aquele acoplamento do estado na descrição dos dois elétrons poderia valer quando você afastasse aqueles elétrons a distâncias macroscópicas. Tanto era assim, que Einstein não foi o único a desconfiar, Schrödinger desconfiou disso, inclusive, foi ele quem criou o termo “*entangled*” (emaranhamento). Outros desconfiaram disso. Wendell Furry, que foi um físico norte-americano, levantou a hipótese de que depois de uma certa distância, esse estado não fatorizável se separaria em dois estados independentes. Mas Einstein é quem viu nitidamente o fenômeno implícito no formalismo matemático da quântica e não aceitou, ele achou que isso era um defeito, uma evidência da incompletude da mecânica quântica, mas ele teve o mérito de ter visto isso naquele hoje famoso experimento de pensamento concebido por ele, Podolsky e Rosen, o EPR. Portanto, essa segunda particularidade, que é muito interessante da história de mecânica quântica, é que esse debate teve, e tem tido, um impacto imenso no desenvolvimento da própria mecânica quântica.

Feito esse comentário inicial, o que quero falar é que, como estamos, aqui neste encontro, interessados em história, filosofia e ensino de Física, escolhi três aspectos da controvérsia e quero comentá-los e fazer certas conjecturas sobre implicações



para o ensino de Física. Ou seja, o que falo a seguir não é resultado de uma pesquisa sistemática sobre a implicação para o ensino de Física, quero fazer conjecturas. E quais são os três aspectos que eu vou selecionar? No primeiro deles, quero olhar muito rapidamente como é que os próprios físicos encararam essa controvérsia ao longo da história. Qual foi a atitude que prevaleceu entre os físicos?

No segundo aspecto, quero comentar sobre como é que os filósofos da ciência, que tinham interesse na filosofia da física, olharam para essa controvérsia? A mesma coisa, ao longo da história, como é que eles reagiram? E, no terceiro aspecto, o que quero olhar é para experimentos e fazer outra pergunta: o que é que esses experimentos, relacionados à controvérsia sobre a interpretação dos fundamentos da mecânica quântica, podem nos dizer sobre a controvérsia? E, do mesmo jeito, que conjectura posso tirar dessa ponderação para o ensino de Física? É esse, então, que é o meu desafio aqui hoje.

O debate sobre a interpretação da quântica e a história da Física

Comecemos pela atitude dos físicos. Quando comecei a trabalhar sobre a história dessa controvérsia, tive um primeiro desafio, que foi um desafio de escrever uma cronologia, uma periodização. É um pouco a mania de historiador, o historiador, se não tem os marcos periódicos, ele fica meio perdido. Eu fiz uma certa periodização, e cito isso porque a Andrea Guerra fez referência a Michael Matthews, que é um professor que já veio ao Brasil várias vezes, e o Michael Matthews ouviu eu falando desta periodização. Estávamos em um evento, em Viseu, Portugal, 2001, e, por iniciativa dele, ele disse assim: “Você não quer submeter esse texto à *Science & Education*?”.

O texto ainda era muito embrionário. Na verdade, o texto era quase uma versão do projeto que eu tinha apresentado na época para o CNPq, em 2001. Tenho, portanto, com a revista *Science & Education* essa ligação, diria quase que afetiva. Esse artigo saiu em um número dedicado à mecânica quântica, aliás, o Michael Matthews era um editor que vivia pelo mundo de olho em apresentações, a captar artigos. Nesse número, também saiu um artigo da Ileana Greca em que sou coautor, ela foi orientada pelo Marco Antônio Moreira e trabalhou sobre o ensino da mecânica quântica no seu doutorado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Nesta periodização, grosso modo, a primeira parte do debate foi aquela marcada pela participação dos fundadores da mecânica quântica. Um grande debate entre Einstein e Bohr, entre Schrödinger e Bohr, no qual as questões inicialmente envolviam o problema do determinismo e rapidamente evoluíram para o problema da completude: estamos diante de uma teoria completa ou diante de uma teoria provisória? Nesse período, o debate sobre os fundamentos da teoria quântica era um debate prestigiado, afinal de contas, era um debate em que estavam Einstein e Bohr, “trocando tiros” na revista *Physical Review*. Depois, temos uma fase que começa no final dos anos 1940 e início dos anos 1950 e que vai até os anos 1970/1980, que é uma fase intermediária, uma fase que caracterizo como aquela em que essa controvérsia passou a ser considerada pelos físicos uma perda de tempo, e é isso que eu quero ilustrar um pouco mais aqui.

Em algum momento mais tarde, essa controvérsia voltou a mudar, e aí a gente poderia discutir: mudou quando os experimentos do Alain Aspect foram publicados, em 1881-1982, ou mudou para valer mais no final dos anos 1980? Certamente, dos meados da década de 1990 em diante, ninguém tem dúvida que mudou, porque entrou um tema que absorveu parte dos fundamentos da mecânica quântica, que foi o tema da informação quântica. Certamente, nessa última etapa, que vivemos até hoje, não se pode falar que esse debate é um debate mal visto. Hoje, se você pega um grande físico brasileiro, ele vai falar sobre o emaranhamento quântico, vai lembrar do Einstein e da resposta de Bohr. Mas, naquele período intermediário, a atitude dos físicos foi uma atitude que, eu diria, muito negativa.

Então, essas são as questões que quero apresentar em grandes linhas. Mas, quero agora ilustrar essa atitude negativa, essa má vontade, daquela fase intermediária, com três ou quatro casos, para ilustrar essa má vontade reinante entre os físicos no que diz respeito aos debates sobre interpretação da mecânica quântica. Quando comecei a trabalhar com a história desse problema, por vezes, eu me fazia a seguinte pergunta: será que as declarações de Bell, de Aspect, não estão querendo valorizar a trajetória que levou os debates dos fundamentos da mecânica quântica a se tornarem o elemento central da área de informação quântica? Será que não tem assim, um pouco, essa história de você reconstruir a sua história para valorizar sua própria trajetória? Será que eles não estão criando uma espécie de um mito de origem?



Fiquei muito contente quando, no trabalho usual de historiador, consultando fontes da época, cartas e publicações, comecei a encontrar evidências da época, portanto, não vistas em retrospectiva, que confirmavam essa má vontade, esse estigma. Então, cito aqui esse trabalho de 1966 que é publicado pelo John Bell, este grande físico, e Michael Nauenberg, que está vivo ainda e que sintetiza muito bem o que era a atitude de má vontade entre os físicos em relação aos fundamentos da mecânica quântica. Bell dizia: “nós enfatizamos não somente que a nossa visão [a visão deles era que a mecânica quântica era, no melhor dos casos, incompleta] é aquela de uma minoria, mas também que o interesse atual em tais questões é pequeno. O físico típico acha que essas questões dos fundamentos da mecânica quântica já foram respondidas há muito tempo e que ele entenderá completamente, basta que ele possa poupar 20 minutos para pensar sobre esses assuntos”.

Da mesma época, tem uma carta, que eu encontrei no arquivo do Léon Rosenfeld, em Copenhague, que era muito ligado a Bohr, na qual ele escreve para o Bell, e essa carta é muito importante porque é do ano que o John Bell publica o seu teorema. O teorema que hoje permitiu-nos decidir no laboratório se, afinal de contas, o emaranhamento quântico era um fenômeno físico ou não. O Rosenfeld, então, no fogo dos acontecimentos, ele escreve para o Bell, expressa um grande respeito por Bell por este ser um físico da área de partículas e aceleradores, mas Rosenfeld diz essa pérola: “Eu não preciso dizer que eu considero sua caça de parâmetros escondidos um desperdício do seu talento e eu não sei também se você vai ficar alegre ou triste por aquilo”. Ou seja, você pega um físico do porte do Rosenfeld, podemos dizer assim, o último dos grandes herdeiros da interpretação da complementaridade do Bohr, e ele achava essa busca do Bell, se afinal de contas era ou não possível complementar a mecânica quântica com teorias com variantes adicionais, ele achava isso desperdício de talento.

Sigamos: o livro do Messiah, cuja edição em francês é um pouco anterior, mas essa versão em inglês é de 1961, é um livro que aceita que tem uma controvérsia, mas ele qualifica esta controvérsia como sendo uma controvérsia filosófica. Portanto, não é assunto para físico, é para filósofo. Então, está lá no livro do Messiah: “a controversa sobre variáveis escondidas finalmente atinge um ponto onde ela não pode mais ser decidida por qualquer observação experimental adicional, por isso ela pertence daqui para frente à filosofia da ciência mais do que ao domínio da ciência física propriamente dita”.

Dito de maneira muito mais polida do que disse Rosenfeld, mas o recado aqui é o seguinte: se você tiver um aluno que queira fazer um doutorado em fundamentos da mecânica quântica, nesse problema da completude da mecânica quântica, não deixe ele fazer isso, porque isso é o domínio de filosofia da ciência, manda ele fazer uma tese no departamento de Filosofia.

Trago uma outra evidência que é uma carta do Michael Hammerton de 1971. Como pano de fundo para esta carta, há todo um contexto que não vou aqui me estender, mas a revista *Physics Today*, em 1970, por certas circunstâncias, tomou a decisão de abrir um debate sobre as interpretações da mecânica quântica. Ela publicou um artigo de Bryce DeWitt, apresentando a diversidade de interpretações e defendendo a interpretação de muitos-mundos; e depois publicou vários artigos debatendo o artigo do DeWitt; e, ainda, depois, publicou uma série de cartas sobre o tema. Aqui, entra o Michael Hammerton, da área de biofísica médica. Ele diz algo que achei muito interessante sobre o artigo do DeWitt, que provocou esse debate intenso. Ele diz que este episódio exemplifica os modos sutis e altamente complexos pelos quais a opinião científica pode mudar e afirma: “Quando eu era um estudante de graduação de Física, 20 anos atrás, portanto, 1951, a linha de Copenhague era ‘científica’, qualquer coisa fora disso era sem significado, *mumbo-jumbo* [expressão típica em inglês para enrolação ou, na melhor das hipóteses, coisa errada]. Agora a coisa curiosa e que não consigo compreender é que não há nenhum grande desenvolvimento ou *insight* teórico novo, que possa ter demolido ou superado essa interpretação; apesar disso existe agora uma considerável insatisfação com essa interpretação e uma vontade de olhar outros pontos de vistas, por exemplo, variáveis escondidas como sendo pelo menos respeitadas”. Então, essa carta evidencia exatamente essa transição, que, no meu argumento, é uma transição que começa ali exatamente 1970-1971, mas vai se consolidar efetivamente 10 anos depois, com os experimentos de Alain Aspect.

Agora, essa má vontade contra a pesquisa em interpretações e fundamentos trouxe efeitos negativos muito concretos para a Física. Vou ilustrar esses efeitos negativos com dois grandes físicos que tiveram suas carreiras científicas truncadas, porque se dedicaram à área de fundamentos e de interpretação da mecânica quântica.

O primeiro deles é John Clauser, um grande físico experimental, que concluiu tese em 1968/1969 na Universidade Colúmbia, com Patrick Thaddeus, sobre radiação cósmica de fundo, o que era um tópico altamente quente na época, como podem se



lembrar do trabalho de Arno Penzias e Robert Wilson de 1964/1965, com a primeira detecção desta radiação. Clauser se encantou com o artigo do Bell e, junto com Abner Shimony e mais duas outras pessoas, escreveu um artigo que é chamado CHSH (acrônimo para os autores: Clauser, Horne, Shimony e Holt), e lidera um dos dois primeiros grupos que resolvem testar no laboratório se, afinal de contas, era o realismo local, defendido pelo Einstein, ou a mecânica quântica que estava correta. E ele conduz o experimento que é um marco na história da física, corroborando as previsões da mecânica quântica, o experimento de Freedman e Clauser de 1972.

No que pese ter sido formado pela Universidade Columbia e ter feito esse experimento crucial, ter escrito esse artigo assinado pelos quatro que permite o teorema de Bell ser levado para os laboratórios e ter publicado outros trabalhos relevantes na época; no que pese tudo isso, Clauser nunca encontrou um emprego permanente nas universidades norte-americanas. Ele não morreu de fome, evidentemente, como grande físico experimental, ele recorreu sempre a uma estratégia que é típica dos Estados Unidos, da Europa também, em que você faz um projeto de pesquisa e você embute no projeto a remuneração do pesquisador.

Nas nossas pesquisas, encontramos muitas evidências da má vontade que existia à época contra o tipo de física que o John Clauser estava fazendo, e não são poucas evidências. Se pegarmos o livro que publiquei – *Os dissidentes quânticos* –, tem várias cartas, várias referências. Agora, essa carta é particularmente importante porque ela foi escrita pelo Abner Shimony, que era muito amigo do Clauser, para ele, em 1972, e o Shimony soube pelo seu amigo, físico francês, Bernard d’Espagnat, que este havia recebido uma consulta do chefe do departamento da Universidade da Califórnia, em São José.

Para entendermos melhor este episódio, cabe notar que esse negócio de concurso nas universidades americanas não tem o mesmo procedimento que nas universidades brasileiras. Funciona do seguinte modo: um departamento quer contratar alguém, o chefe do departamento manda uma, duas, três, quatro cartas a pessoas experientes no campo, perguntando a opinião destas pessoas sobre o candidato. Se essas pessoas forem muito favoráveis, o departamento chama o candidato para apresentar um seminário, e é assim que o departamento decide a contratação. Então, o que está aqui na forma de uma carta parece uma coisa, assim, inodora, uma carta, na verdade, é um processo seletivo em andamento. Então, ele, Shimony, disse assim para o Clauser: “eu encontrei o Bernard d’Espagnat na última semana [porque nessa

época o Shimony estava na França] e o d’Espagnat recebeu uma carta do chefe do apartamento de São José perguntando se o que você [Clauser] está fazendo é física verdadeira”. Ou seja, na altura de 1972, um chefe de departamento de uma grande universidade americana tinha dúvida se o tipo de física experimental que o Clauser estava fazendo, se era física, física verdadeira (*real physics*). O Shimony prossegue informando que d’Espagnat vai escrever uma forte carta respondendo à questão a favor de Clauser. Shimony conclui: “lamento que, a partir dessa evidência, a situação de seu emprego está ainda não resolvida”. E continuaria sem solução.

Pego o segundo caso, que é mais simples, Hugh Everett é um físico teórico, matemático, com seu doutorado em Princeton em 1957, orientado por John Archibald Wheeler. Efetivamente, ele fez toda uma carreira em Matemática, trabalhando para o sistema de defesa norte-americano, mas a tese dele é sobre os fundamentos da mecânica quântica, a tese é sobre o que a gente chama hoje: a interpretação dos estados relativos e que, mais tarde, o DeWitt vai chamar de interpretação de muitos mundos, expressão essa que o Hugh Everett nunca usou. O que foi a sorte do Hugh Everett foi também a tragédia dele: a sorte é que ele chega então em Princeton, uma universidade de ponta, o John Archibald Wheeler, que era um Bohriano, fica interessado por uma tese naquele tema e, então, “patrocina” a tese. Wheeler considerava a sabedoria de Bohr no patamar daquela de Platão, de Cristo e de Buda, para se ter uma ideia da elevada referência que ele tinha de Bohr.

Wheeler orienta a tese, dá o nome como orientador, mas ela é feita integralmente pelo Everett, e é uma interpretação alternativa na qual você elimina o colapso da função de onda, você elimina o postulado do Von Neumann da redução do operador, o que fisicamente se chama de colapso do pacote de onda. Essa interpretação, que depois vai ser influente, vai ser influente em computação quântica, hoje tem muita gente que trabalha com ela, tem gente que critica ela, enfim, esta interpretação alternativa sai como uma tese de Princeton, mas o azar é que Wheeler fica encantado com a tese, mas diz para o Everett duas coisas.

Primeiro, Everett teria que convencer Bohr de que a tese estava correta, que estava adequada, e Wheeler queria que a tese fosse publicada nos anais da academia dinamarquesa de ciência, para que, ao ser publicada na Dinamarca, a tese tivesse o *nihil obstat* do Papa, no caso, Bohr. Bohr não aceitou a tese do Everett, nem ele, nem Rosenfeld, e criticaram a tese do Everett fortemente. Wheeler então



enquadrado Everett, e por isso que hoje quem conhece a história da tese de Everett tem que lidar com a chamada tese longa e a tese curta.

A tese longa é a tese inicial escrita por Everett e levada a Copenhague pelo próprio Wheeler, para receber a benção de Bohr, o que não aconteceu. Já a tese curta é o seguinte: Wheeler pediu a Everett para cortar mais de 50% da tese e qualquer referência ao problema de interpretação da quântica, para que ela ficasse assim, se não palatável, pelo menos não tão incômoda à visão sustentada por Bohr, da interpretação da complementaridade, por vezes chamada de interpretação de Copenhague. Todas as referências críticas à Interpretação da complementaridade foram tiradas na versão da tese curta, e ela foi assim aprovada em Princeton. O resultado é que Everett ficou chateado com aquilo e, como era um matemático brilhante, começou a ser atraído por contratos na defesa americana. Aí, mandou a física passear e nunca voltou a escrever um artigo em física.

Aqui, trago uma carta do Rosenfield, de início dos anos 1970, para Frederik Belinfante, como a tese foi publicada em 1957, portanto a carta é de praticamente 15 anos depois. Rosenfield escreve para Belinfante, e a carta expressa o modo como Everett foi encarado em Copenhague. “No que diz respeito a Everett nem eu, nem mesmo Niels Bohr, podíamos ter qualquer paciência com ele quando ele nos visitou em Copenhague mais do que 12 anos atrás [ele visitou em 1959] de modo a vender as suas ideias desesperançosamente erradas sobre as quais ele tinha sido encorajado – de maneira pouco sábia por Wheeler – a desenvolver”. Então, ele acrescenta: “ele [Everett] era indescritivelmente estúpido e não podia entender as mais simples coisas em mecânica quântica”.

Conclusão que posso tirar desse episódio: os físicos nem sempre ficaram bem na fita no que diz respeito aos fundamentos da mecânica quântica. É muito bonito hoje um físico que vai falar sobre emaranhamento, fala o EPR, traz a foto do Einstein, diz que ele está errado e que Bohr está certo, mas esconde, joga para debaixo do tapete todo esse jogo sujo praticado na Física nos anos 1950-1960-1970. É uma época, portanto, em que a Física teve pouca tolerância. Acho que esse episódio todo tem uma lição, primeiro, para a Física. Ou seja, a Física, como todas as comunidades disciplinares, por vezes, pode ser muito pouco tolerante às ideias novas, ou excessivamente crítica das ideias novas.

Acredito que isso também pode ter uma implicação que vou simplesmente conjecturar: será que o ensino de mecânica quântica que hoje é esse desafio educacional

absolutamente crucial, porque a gente precisa generalizar o ensino de mecânica quântica, mas será que esse ensino de mecânica quântica não seria beneficiado se, ao invés de os professores de Física esconderem esse debate, eles explicitassem que esse debate existiu, que esse debate continua existindo? Essa é uma questão para uma decisão no âmbito da cultura do ensino de física. É uma questão importante para o ensino de mecânica quântica, que é um enorme desafio, está certo, porque muitas vezes o que é que acontece? Você ensina mecânica quântica normal, e, no semestre seguinte, chega aquele aluno mais esperto e diz: “professor, e aquela crítica que o Einstein tinha da mecânica quântica”? Ou seja, o aluno pode achar que foi interdito de conhecer aquela interessante história, literalmente porque o professor escondeu do aluno as críticas que o Einstein tinha da mecânica quântica. Então, é essa questão que o ensino de física deve examinar.

Acho que isso também valeria para outras temáticas. É preciso um certo equilíbrio entre defesa das ideias e teorias bem estabelecidas com flexibilidade e tolerância para aceitação de desafios. É esse equilíbrio que a ciência tem que buscar sempre para se fortalecer. Certamente, esse equilíbrio foi mal resolvido no caso da Física e no caso dos fundamentos da mecânica quântica nos anos 1950/1960 e 1970, e ele não devia ser escondido do ensino de Física.

Filósofos da ciência

Daqui para frente, eu mudo um pouco de assunto, não falo mais dos físicos e passo mais rápido. Eu quero falar dos filósofos da ciência. Aqui, a situação é muito complicada, porque hoje tem uma comunidade importante de filosofia da mecânica quântica que está alojada nos departamentos de filosofia, que trabalha sobre fundamentos da mecânica quântica. Aliás, há dois meses, eu fui à Universidade Federal de Santa Catarina, ao Departamento de Filosofia, e lá, sob a liderança do Décio Krause, eles organizaram um importante evento dedicado a fundamentos da mecânica quântica. Eu fui e fiz uma palestra, então, você olhando assim pode achar o seguinte: é normal que os filósofos da ciência tenham sempre se interessado e apoiado o debate sobre os fundamentos da mecânica quântica. Mais ou menos, veja, se você olhar para o Popper, que na Federal do Rio Grande do Sul ele tem um grande amigo, o Fernando Lang, que é popperiano de carteirinha; aliás, a nossa amizade começou quando ele me mandou a dissertação de mestrado, ou a tese de doutorado



dele, sobre Popper e a mecânica quântica, isso lá nos idos de 1990-1991-1992. O Popper se engajou nesses debates, e o terceiro volume do *postscript* do “Lógica da descoberta científica” é dedicado ao que ele chama de “O cisma da Física”.

Um outro grande filósofo, o Feyerabend, também se envolveu muito fortemente na mecânica quântica. Aliás, eu antecipo que, nesse livro, o *handbook* da Oxford, vai ter um capítulo exatamente sobre as visões do Feyerabend sobre a mecânica quântica, mas nem todos os grandes filósofos da ciência tiveram atitude desse tipo. É mais ou menos bem sabido que não foi a atitude do Thomas Kuhn, cuja visão era a seguinte: teve uma revolução científica? Teve, ela acabou em 1927, quando a mecânica quântica foi formulada, dali para frente, era ciência normal. Reabrir esse debate sobre interpretações era confundir, na visão do Thomas Kuhn, ciência normal com período de revolução científica, e você sabe que, se misturar período de revolução científica com os períodos de ciência normal, o edifício do “Estrutura das Revoluções Científicas”, esse *best-seller*, essa grande contribuição do Tomas Kuhn para a filosofia da ciência, desmorona.

Vejamos como essa visão do Kuhn foi criticada. Mara Beller, em seu livro *Quantum Dialogue*, fez uma crítica frontal. Ela analisa os debates no início da mecânica quântica e argumenta que o diálogo aberto foi fechado a uma certa altura, próximo a 1927-1928, com o estabelecimento da interpretação da complementaridade e a forte adesão dos pais fundadores da mecânica quântica a ela. No fim do livro, Beller sustenta que a noção de paradigma de Thomas Kuhn é uma tradução, para a filosofia da ciência, da monocracia da interpretação de Copenhagen, da interpretação da complementaridade.

Mais recentemente, escrevendo uma biografia sobre David Bohm, eu terminei encontrando algo que estava publicado, mas em debates registrados em um desses *proceedings* (atas de conferências). Foi uma descoberta que, para mim, foi absolutamente fantástica. Esses debates estão nos *proceedings* de uma conferência de 1969, nos Estados Unidos, organizada pelo Frederick Suppe, na qual Kuhn estava presente, Bohm estava presente, mas não presencialmente, pois a contribuição dele foi lida por um ex-aluno, o Jeffrey Bub. A intervenção de Kuhn tem essa preciosidade, olhem o que é que ele diz: “É a minha impressão que uma das maiores dificuldades enfrentadas pelas pessoas que estão dedicadas a revisar a interpretação de Bohr, é que nenhum dos problemas que emergem para essas pessoas faz qualquer contato

com os problemas técnicos que a Física tem enfrentado nos últimos anos, nos anos recentes. E isto tem criado uma profunda crise para a profissão”.

Ou seja, Kuhn está nos dizendo que os debates sobre a interpretação, sobre interpretações, sobre fundamentos da mecânica quântica, criaram uma crise na profissão. Você troca Kuhn por Rosenfeld e não tem diferença no conteúdo e no estilo das atitudes deles. A reação do Jeffrey Bub, eu achei fenomenal, porque ele reagiu bem, ele disse assim: “Algo sobre o que o professor Kuhn acabou de dizer realmente me incomodou”. E tem uma curiosidade, porque o Bub fez a tese de doutorado dele em 1964, sob a orientação de David Bohm, sobre introdução de variáveis escondidas na mecânica quântica. Então, Bub se sentiu até, pessoalmente, criticado; era quase uma crítica *ad hominem*. Mas não é por aí que o Bub vai se defender, vejamos como ele se defende: “Alguma coisa sobre o que o professor Kuhn acabou de dizer realmente me incomodou, ele sugere que devemos nos preocupar apenas com o que a maioria dos físicos está preocupada hoje”.

Bub prossegue, em uma frase muito expressiva: “Qual o significado para a filosofia da ciência é o fato de que hoje, ou nos últimos 30 anos, os físicos, em sua maioria, têm estado preocupados com certos tipos particulares de problemas e que outros certos problemas tenham sido abandonados como irrelevantes. Nomeadamente o problema da interpretação da teoria quântica”. Então Bub se pergunta: “Qual o significado disso para a filosofia da ciência?”. Para a Física, ele não está discutindo, mas e para a filosofia da ciência? Então, Bub conclui: “Eu penso que esse é realmente um modo muito peculiar de olhar para a história da física ou para o modo pelo qual a física é desenvolvida, e então tomar aquilo que a maioria dos físicos está fazendo como uma espécie de padrão sobre o qual basear uma metodologia no sentido prescritivo”. É como se Bub estivesse dizendo: Thomas Kuhn está reificando a ciência, transformando a ciência numa metodologia, atribuindo à prática da ciência, num dado momento, um valor prescritivo. Esta é a mesma crítica que, mais tarde e em outros termos, vai ser feita pela Mara Beller.

Agora, eu passo rápido para mostrar que, desde então, outros filósofos também têm batido na mesma tecla. Cito, por exemplo, o trabalho de Machamer de 2000, que é um estudo sobre controvérsias, mas é um estudo no qual as controvérsias sobre a mecânica quântica não tiveram muito papel nesse volume. Machamer sugere que Einstein, que tinha desafiado a viabilidade lógica e filosófica da interpretação ortodoxa da mecânica quântica: “Finalmente, implicitamente reconheceu que em



termos de argumento ele foi derrotado”. Então, ele cita, em apoio a esta suposta derrota, uma carta do Einstein para Bohr em 1947. Trata-se de uma má leitura da carta de Einstein e do seu contexto. Einstein escreve para Bohr: “Eu não posso, contudo, basear essa convicção da crítica na mecânica quântica sobre razões lógicas, mas posso somente produzir meu pequeno dedo como testemunha”.

Contudo, um ano e meio depois, Einstein vai escrever, naquela coleção sobre os cientistas, um volume com artigos a ele dedicados e vai reiterar todos os seus pontos de vista da mecânica quântica. Isto está no artigo final – “Resposta aos críticos” – daquele volume. Einstein ainda vai publicar um outro artigo em 1953, reafirmando suas visões sobre a mecânica quântica. Então, Einstein não se considerou derrotado, ele era a minoria, mas ele foi até o fim defendendo seu ponto de vista.

A história do envolvimento dos filósofos da ciência com o debate sobre a interpretação da mecânica quântica traz uma possível implicação para o ensino. É muito importante que os nossos estudantes conheçam Popper, Kuhn, Lakatos e todos os outros, mas é muito importante também que eles conheçam criticamente esses filósofos da ciência. Não podemos santificar nenhum dos filósofos da ciência, porque eles foram parte da cultura científica e filosófica do século XX. Isso torna mais complicada a introdução da filosofia da ciência no ensino de ciência? Torna, mas não tem escapatória. Ciência e filosofia são produzidas imersas em dados contextos culturais.

Experimentos em fundamentos da Física Quântica

Passo agora para a última parte da minha apresentação, falarei sobre experimentos. O assunto é vasto e justificaria uma outra apresentação, mas eu quero falar do significado dos experimentos relacionados a fundamentos e interpretações da Física Quântica; do significado partilhado pela grande maioria dos físicos. Estes experimentos, feitos a partir da década de 1970, principalmente a partir do trabalho do Freedman, do Clauser e de toda a série de experimentos que até hoje estão sendo desenvolvidos, eles podem ser condensados na seguinte apreciação: o desenvolvimento da técnica, nos últimos anos, permitiu que experimentos de pensamentos sejam transformados em experimentos reais, experimentos de laboratório, então, esta que é a grande novidade. Esta foi, por exemplo, a abordagem da aula inaugural de Serge Haroche no Collège de France.

Mas, a essa grande novidade, eu quero agregar dois comentários finais. O primeiro é que esses experimentos permitiram a manipulação de sistemas quânticos individuais, fóton um a um, elétron um a um, cavidades de ressonância, técnicas que permitiram experimentos de dupla fenda com elétrons, um a um, com fótons um a um, experimentos de escolha retardada, todos os experimentos envolvendo o teorema de Bell e as desigualdades, experimentos que permitiram levar o gato de Schrödinger para o laboratório, este último experimento – tipo gato de Schrödinger – foi um trabalho do Serge Haroche que acabei de citar. Mas, a motivação técnica disto não derivou dos fundamentos da mecânica quântica, então esse é o primeiro alerta.

Foi uma inovação técnica, o elemento isoladamente mais importante foi o *laser*, o segundo talvez mais importante foi a generalização do uso da informática nos experimentos, particularmente em ótica. Então, isso, para mim, encerra uma certa lição sobre como é que a física se desenvolve, que eu diria assim: aqui eu já abordo uma possível explicação para o ensino, ao introduzirmos filosofia da ciência no ensino, a gente deve ir “devagar com o andor”, na ideia dos pós-positivistas que criticam a ideia de que o experimento tem primazia, observações têm primazia. A crítica dos pós-positivistas tem razão, não estou tirando a razão deles. Os experimentos são carregados de teoria, você olha para um experimento já com uma dada lente teórica.

Mas, o “devagar com o andor” é que, no desenvolvimento da Física, não é verdade que a experimentação esteja sempre subordinada ao desenvolvimento das teorias, e não é verdade que o desenvolvimento da técnica esteja sempre subordinado à experimentação, eles têm dinâmicas próprias, e quando você olha para os últimos 50/60 anos, foi isso que aconteceu, ou seja, foi a área de fundamentos que se apropriou desses desenvolvimentos técnicos e fez esses experimentos fenomenais.

Acho isso muito importante, porque, em geral, nós temos um problema com a área da física experimental no Brasil. Ela tem sido menos subdesenvolvida, se comparada com a física teórica, e muitas vezes a explicação para isso é o subfinanciamento da Física, particularmente nos anos de 1980-1990. Mas, há uma razão mais de fundo, que não podemos esquecer, de que vivemos numa sociedade que era baseada na escravidão até um século atrás, portanto, uma sociedade em que o trabalho experimental, e não tem trabalho experimental que não seja manual, sempre foi encarado com um pouco de desprezo. Poderia ilustrar isso com casos aqui do meu instituto, para não falar da casa dos outros. O que eu quero dizer é que seria muito



saudável para a Física brasileira se tivéssemos uma atitude de mais consideração diante do físico experimental e do físico instrumentista.

Já vi muita gente dizer, diante de um físico, que é um bom instrumentista: “ah, ele é um engenheiro”. Então, é esse que é o “devagar com o andor” que estou defendendo. Ou seja, todo esse desenvolvimento técnico, esses experimentos, por vezes, a motivação para o desenvolvimento técnico não deriva da necessidade da teoria. É como aquela história dos alpinistas. Se você pergunta por que mesmo que tem que escalar aquela montanha? A resposta será: “É porque ela está lá”. Então, por que que foi preciso correr atrás do *laser*? Ninguém tinha toda clareza de aonde o *laser* ia levar, no caso do *laser*, tinha algumas pistas, mas ele estava lá. Era uma possibilidade teórica, tinha que correr atrás, ou seja, tem uma dinâmica própria que não é subordinada à teoria, era isso que eu queria dizer.

Agora, temos o último aspecto que eu quero chamar a atenção. A lista de experimentos é uma lista fenomenal. Quero só mostrar, aqui, o último desses experimentos, com resultados publicados no ano passado. É um experimento que envolve fundamentos da mecânica quântica feito pelos chineses, liderados por Jian-Wei Pan. Ele foi um aluno do Anton Zeilinger em Viena na altura do ano 2000. Vinte anos depois, os chineses estão na liderança, digamos assim, de uma área que é fundamental para a Física básica e fundamental para as comunicações quânticas, que é manter o emaranhamento entre fótons, espacialmente separados, separados de distâncias entre satélite e base na terra da ordem de mil quilômetros. Tem um satélite que foi lançado em 2016, e esse satélite tem sido parte dos experimentos envolvendo emaranhamento quântico e criptografia quântica em desenvolvimento na China.

Por que isso é particularmente importante? Isso é particularmente importante porque, se os novos métodos de criptografia quântica vão revolucionar a sociedade, eles têm que funcionar na escala dos satélites. Hoje, eles funcionam muito bem na escala de distâncias entre dois pontos conectados por fibra ótica. Então, por exemplo, da Suíça, o grupo liderado por Nicolas Gisin tem sido capaz de ligar dois bancos suíços que estão separados por 100, 200 km. Na China, os bancos entre Pequim e Xangai estão também conectados por fibra ótica. Mas, você não vai conectar a Ásia aos Estados Unidos, se não for pelo satélite. Então, portanto, experimentos com emaranhamento envolvendo satélites são impressionantes.

Faço agora meu último comentário e encerro com isso. Esses experimentos, particularmente os experimentos sobre emaranhamento quântico, têm trazido,

diria assim, duas lições. Uma que a física incorporou bem. A outra, às vezes, digo o seguinte: lembra daquele filme do Al Gore, vice-presidente dos Estados Unidos, que escreveu o livro, que depois virou filme, sobre o aquecimento global, *Uma verdade inconveniente*? Então, a segunda parte da minha conclusão é uma verdade inconveniente para a Física, e precisamos saber se queremos enfrentar essa verdade ou não.

Sei que estou exagerando um pouco, mas é para tornar mais atrativa a conclusão da minha apresentação. Então, a primeira parte da conclusão dos experimentos é a seguinte. Hoje, pode-se dizer que todas as quebras do Realismo local, implícitas no emaranhamento da mecânica quântica, são tão desconcertantes às nossas intuições, às intuições do Einstein, que os físicos foram motivados, por décadas, a fazer experimentos mais sofisticados, fechando o que a gente chama de *loophole*, as escapatórias que poderiam explicar algum efeito não conhecido que explicasse aquelas correlações.

O último desses experimentos é fenomenal. É o experimento que foi conduzido pelo David Kaiser, que é um dublê de historiador da física e físico, e pelo Anton Zeilinger. O que é que eles fizeram? Um experimento usual com pares de fóton, correlacionados, que são medidos, contados, de acordo com suas polarizações. Mas, eles buscaram alterar a orientação dos polarizadores de um lado e do outro, em tempos menores do que o tempo que a luz gastaria para ir de um lado para o outro. Só que eles resolveram fazer isso usando uma técnica para gerar números aleatórios para definir a escolha das orientações dos polarizadores. E, ao invés de recorrer ao que se tem atualmente de gerador de números aleatórios, eles usaram outra técnica. Aliás, no passado, séries de números aleatórios estavam em livros grandes que ficavam na biblioteca da Física. O que é que eles fizeram? Eles captaram luz de quasares distantes de um lado e do outro. Dois quasares distantes, claro. Logo, luz vinda de duas fontes independentes, e usaram essa luz do quasar para, conforme a luz chegava, era uma dada orientação ou outra do polarizador que era ativada. E do outro lado a mesma coisa, de tal maneira, portanto, que, se existe algum efeito que explique esse emaranhamento quântico por uma correlação pré-existente, essa correlação vem desde o início do universo. Então, ou seja, temos, portanto, hoje boas razões para confiar que esse emaranhamento quântico é um fenômeno físico.

Vou agora para a segunda parte da conclusão, com a qual eu encerro. O emaranhamento quântico, então, descarta o chamado realismo local. A gente não sabe hoje se ele descarta o realismo, se descarta a localidade ou se descarta os dois. Não



temos experimentos que permitam ir para um lado ou para o outro. Mas, o realismo local certamente está afastado. Agora, curiosamente, nem Einstein tinha uma interpretação alternativa que fosse realista local. A gente pode dizer que os experimentos descartaram uma certa classe de teorias (essa classe não estava preenchida ainda). Essa classe de teorias tinha o pressuposto do realismo local, o que é um bom pressuposto, em concordância com as boas intuições da física. Contudo, todas as interpretações alternativas existentes, a do David Bohm, a do Hugh Everett, por exemplo, todas elas trazem embutidas a não localidade da mecânica quântica. Portanto, até agora, esta que é a conclusão, nenhum experimento permitiu descartar uma das interpretações alternativas da mecânica quântica.

A pergunta que fica é a seguinte: será que é razoável imaginarmos que, no futuro imediato, vamos ter experimentos que permitam discernir uma interpretação da outra? Alguns físicos acham que sim. Basil Hiley, na Universidade de Londres, está montando um experimento para isto. Tem um outro, o Angelo Bassi, italiano, que está desenvolvendo um experimento para testar as ideias de Ghirardi, Rimini e Weber, de localização espontânea. Nos próximos anos, teremos estes resultados.

Mas, gosto de olhar para outra possibilidade. Qual é a outra possibilidade? É uma possibilidade que tem ressonância com uma tese da filosofia da ciência, que é a tese da subdeterminação das teorias pelos dados empíricos, que é chamada a tese de Duhem-Quine, que está meio fora de moda na filosofia da ciência. Vejamos: o aspecto lógico está de pé, mas essa teoria, essa tese, hoje, é suspeita de ter insuflado o relativismo na filosofia da ciência.

Lembro que, há 10 anos atrás, apresentei um trabalho, que falei sobre isso num congresso de filósofos. Mesmo os amigos, quase que vieram para cima: você está querendo jogar água no moinho do relativismo? Mas, se olharmos para o caso da mecânica quântica, será que não é uma situação desse tipo? Que os experimentos não serão capazes de discernir uma interpretação da outra? E, de maneira ainda mais audaz, aqui, a última conjectura mais forte. Quando olhamos para mecânica clássica, falamos de formalismo. Quando falamos da mecânica newtoniana, da lagrangeana, da mecânica de Hamilton-Jacobi, não falamos de teorias rivais, nem de interpretações rivais. Falamos, com naturalidade, que tal formalismo possa ser mais adequado a certas circunstâncias do que a outras. Será que o futuro da Física não vai nos reservar essa surpresa? A de termos, no futuro, daqui a 30 ou 50 anos, que conviver com as interpretações variáveis escondidas, estados relativos e colapso

espontâneo, e outras tantas? Convivermos com distintas interpretações da mecânica quântica, portanto, compatíveis entre si de pleno direito, mas que são melhor aplicadas a certas situações do que a outras?

As implicações dessa conclusão final para o ensino são mais complicadas. Porque sei que um ponto importante é frisar a natureza empírica experimental da Física, mas essa natureza empírica precisa ser apresentada de maneira crítica, e não de maneira ingênua. Com isso, então, encerro a minha apresentação.

The centenary debate on the interpretation and foundations of Quantum Physics

Abstract

We analyze features from the history of quantum mechanics, in particular from the debate over the foundations and interpretations of this scientific theory. This analysis may be useful in the context of the Quantum Century project, which is being developed to reach its apex in 2025. Taking into consideration the quantum controversy, that is, the controversy over the foundations and interpretations of quantum mechanics, we discuss the three following features: physicists' attitudes towards the research on the foundations of this theory, philosophers of science's approach to that controversy and the role of experiments in the resolution of this controversy. Lessons from this analysis may be useful in the teaching of quantum mechanics, particularly in the students' early stage of contact with this scientific theory.

Keywords: history of Quantum Mechanics; complementarity; quantum dissidents.

Nota

- ¹ Transcrição, revisada pelo autor, de palestra no I Encontro sobre História e Filosofia no Ensino de Física – 26 de maio de 2021.

Referências

FREIRE JUNIOR, Olival. **The Quantum Dissidents: Rebuilding the Foundations of Quantum Mechanics 1950-1990**. Springer, 2015.

FREIRE JUNIOR, Olival. **David Bohm: a life dedicated to understanding the Quantum World**. Springer, 2019.

FREIRE JUNIOR, Olival. Making sense of the century-old scientific controversy over the quanta. In: FREIRE JUNIOR, Olival (ed.). **The Oxford Handbook of the History of Quantum Interpretations**. Oxford: Oxford University Press, 2022.



Considerações metodológicas sobre o uso de fontes primárias no ensino de Física¹

Ricardo Karam*

Resumo

Há mais de cem anos ensinamos e aprendemos física por meio de livros didáticos. Para membros externos a essa comunidade, pode parecer estranho termos que aprender sobre “leis de Newton”, “equações de Maxwell” ou “teorema de Noether”, sem consultarmos as obras escritas por esses autores. Neste trabalho apresento dois episódios que ilustram o uso de fontes originais no ensino de mecânica e termodinâmica. O objetivo dos episódios é tentar extrair aspectos metodológicos gerais que conduzam a um uso produtivo de fontes primárias no ensino de física.

Palavras-chave: Fontes originais, Ensino de Física; Lei da Gravitação Universal de Newton; Gênese da Entropia; Clausius.

Introdução

Sabemos que há uma tradição muito grande em ensinar e aprender física com livros didáticos, e há inúmeras razões para se fazer isso. Uma pergunta que poderia ser feita, entretanto, é o que aconteceria se nós fossemos direto à fonte? Para uma pessoa que não é da física pode parecer estranho o fato de que aprendemos as Leis de Newton não lendo Newton, de que aprendemos as equações de Maxwell não lendo Maxwell, de que a equação de Schrödinger não é aprendida lendo-se Schrödinger. Imagine isso na área de literatura. Se falarmos que não podemos aprender determinado autor lendo diretamente o livro, a fonte original, isso pode parecer um pouco estranho. Por que precisamos desses intermediários? Por que não podemos ir direto à fonte?

* Doutor em Educação pela Universidade de São Paulo. Professor na University of Copenhagen, Denmark.

A ideia pode parecer sedutora à primeira vista, mas quando vamos nos debruçar e abrir uma fonte original, é assustador, com frequência a primeira reação é que o texto é incompreensível. Se tentarmos ler a proposição 11 do Principia do Newton ou o tratado de Maxwell, veremos que os enunciados são muito diferentes do que estamos acostumados. Provavelmente um encontro despreparado com os trabalhos originais pode provocar um sentimento de confusão e nos fazer voltar ao “porto seguro” dos livros didáticos. A partir desse entendimento, a proposta do presente trabalho é discutir a possibilidade de um meio termo, isto é, como podemos fazer uso dessas fontes originais de forma produtiva e que nos oportunize aprender física. O desafio está em discutir sobre uma espécie de didatização de fontes originais.

Para tanto, na seção 2, apresento alguns critérios iniciais que julgo serem importantes para a seleção de originais que podem ser utilizados no contexto didático. Na sequência, apresento dois episódios que exemplificam tais critérios e ilustram o potencial didático do uso de fontes primárias.

Critérios para seleção de fontes primárias no ensino de Física

Nesta seção, serão discutidos cinco critérios que podem ser utilizados na escolha de fontes primárias no ensino de Física. Tais critérios contribuíram para a seleção dos dois episódios que serão discutidos na sequência e podem contribuir para a busca de outros episódios para serem utilizados em sala de aula.

a) Seleção criteriosa: trechos curtos e insights profundos

Nem todo material histórico pode ser explorado facilmente na sala de aula. Há textos que podem ser muito longos, ou adotar notações muito diferentes, ou, simplesmente, não trazem uma contribuição muito significativa em relação ao que já é, usualmente, discutido nos livros didáticos. Por isso, o primeiro critério para a adoção de fontes primárias é a seleção criteriosa dessas fontes.

Em especial, devemos escolher trechos curtos que levem diretamente a algum *insight* profundo, que tragam alguma discussão e entendimento que ajude a compreender o conceito físico em questão e que, normalmente, não é apresentado pelos livros didáticos atuais. Nesse sentido, é necessário que se faça uma análise e um



estudo cuidadoso dessas fontes até se encontrar quais elementos são promissores para contribuir com o ensino de Física.

b) Tradução para notação moderna

Uma vez selecionado os textos adequados, devemos ter clareza que há necessidade de uma tradução para notação e linguagem moderna. Os conceitos físicos se modificam com o tempo, assumindo novas relações e significados. Nesse sentido, é importante fazer observações sobre como o conceito era entendido e apresentado naquela época e como isso se configura hoje.

c) Objetivos educacionais claros

O uso de fontes primárias não deve ser usado apenas como uma curiosidade, mas deve entrar na proposta de ensino como um elemento que ajudará a atingir um determinado objetivo didático. O que você quer focar? O queremos que o seu aluno aprenda com esse trecho? Ter clareza dos objetivos pedagógicos é fundamental para decidir quais fontes utilizar na sala de aula.

d) Ter boas fontes secundárias

Sempre que possível é bom valer-se de fontes secundárias que ajudem a entender um determinado episódio. Ao ler as fontes secundárias, isso pode contribuir para a compreensão do texto, das motivações, dos passos que não são explicados pelo próprio autor. Assim, é importante, sempre que possível, consultar artigos especializados que discutam a obra a ser apresentada.

e) Comparar com os livros didáticos contemporâneos

Principalmente no contexto de formação de professores, pode ser profícuo comparar a forma original com a maneira usual de ensinar. Essa comparação pode contribuir para entender o próprio processo de “transposição didática”, ressaltando como os conceitos e episódios históricos ganham outros sentidos no contexto didático.

Esses critérios, apresentados de uma forma ampla podem parecer abstratos, portanto, na sequência, trago alguns episódios que exemplificam o uso desses critérios.

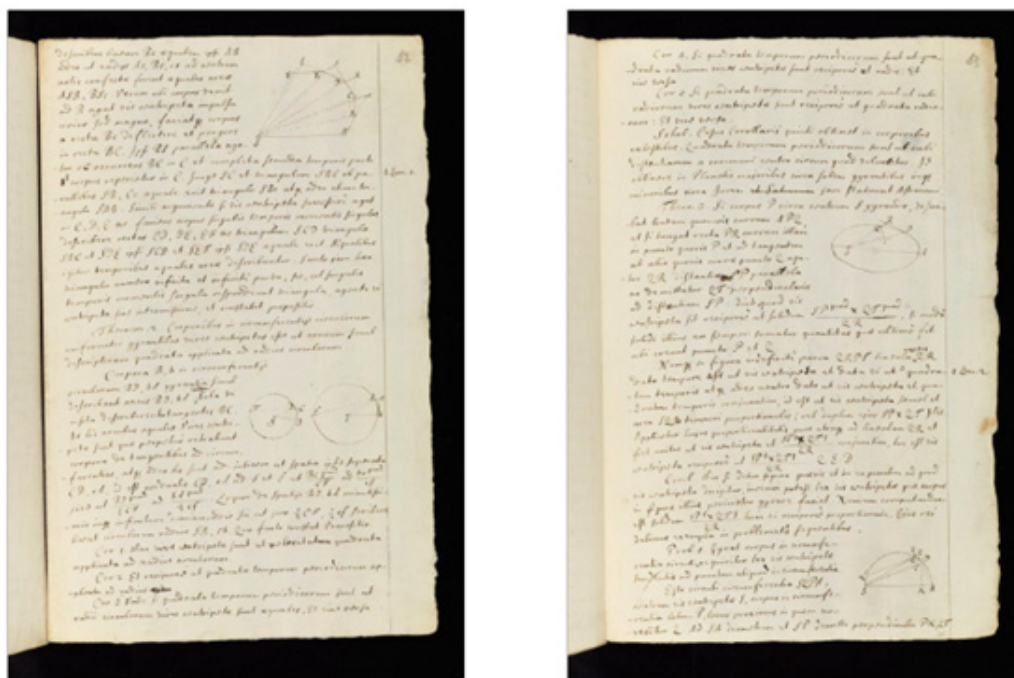
Episódio 1: Força *PQRST* de Newton

O primeiro episódio pode ser chamado de Força *PQRST* de Newton. O objetivo dessa apresentação não é mostrar todos os detalhes do texto e exaurir sua discus-

são, mas, somente, introduzir aspectos gerais que permitam a discussão sobre a potencialidade didática do uso de fontes primárias no ensino de Física.

No primeiro episódio, vamos falar da força *PQRST* do Newton, a partir de dois teoremas apresentados em um manuscrito famoso de Newton “DE MOTU CORPORUM IN GYRUM”. Na verdade, esse trabalho foi que tornou o Newton famoso. Há um episódio em que o Halley foi visitar Newton, perguntando a ele como se relaciona a força proporcional ao inverso do quadrado da distância com a trajetória elíptica da órbita de um planeta em torno do Sol. Para entender a essência do raciocínio de Newton, vamos nos concentrar aqui no teorema 1 e no teorema 3 deste manuscrito.

Figura 1: Duas páginas da obra DE MOTU CORPORUM IN GYRUM publicada por Newton em 1687

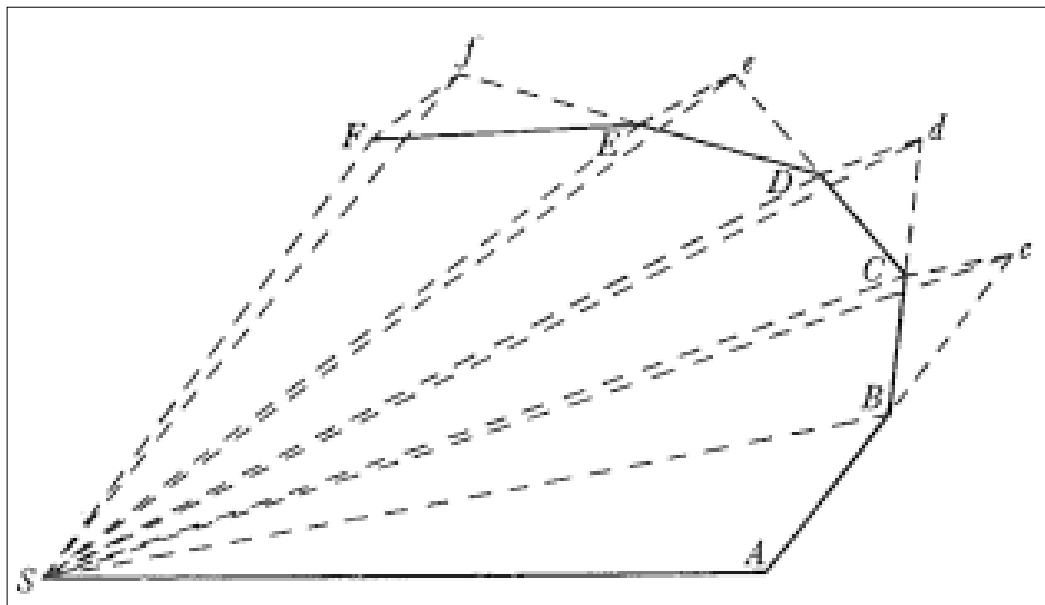


Basicamente o que o Newton fez foi achar uma maneira de explicar, de deduzir, as duas primeiras Leis de Kepler, mostrando *por quê* essas leis são dessa forma.

No primeiro teorema, Newton mostra que se assumimos uma força central, temos como consequência a segunda Lei de Kepler, que afirma que o segmento imaginário que une o planeta ao sol varre áreas iguais em tempos iguais. A demonstração está

baseada na Figura 2: imagine que o Sol está em S . Inicialmente, o planeta se desloca do ponto A até o ponto B , em uma trajetória retilínea e continuaria em linha reta até o ponto c , mas quando ele chega em B , recebe uma força central, uma espécie de “chute” instantâneo, que o desvia. Então, a trajetória dele, que seria de B até c , passa a ser de B até C . O objetivo desse teorema é mostrar que a área varrida quando ele vai de A até B , ou seja, o triângulo SAB é igual à área do triângulo SBC . É um pouco confuso porque há algumas linhas que passam por cima, mas esse é o objetivo². A demonstração tem duas etapas. A primeira é mostrar que os triângulos SAB e SBc têm a mesma área. Isso se deve ao fato de ambos terem a mesma base ($AB = Bc$) e a mesma altura (distância entre a reta que contém Ac e o ponto S). A segunda é provar que os triângulos SBc e SBC possuem a mesma área. Isso ocorre porque eles têm a mesma base (SB) e a mesma altura (distância entre as retas que contêm SB e Cc). O ponto crucial é perceber que o desvio provocado pela ação da força instantânea em B , desvio este representado pelo segmento Cc , é *paralelo* ao segmento SB , pois assume-se que a força em B é *central*. Em essência, esse teorema demonstra que, se assumirmos uma força central, temos como consequência que o segmento que une o planeta ao sol varre áreas iguais em tempos iguais.

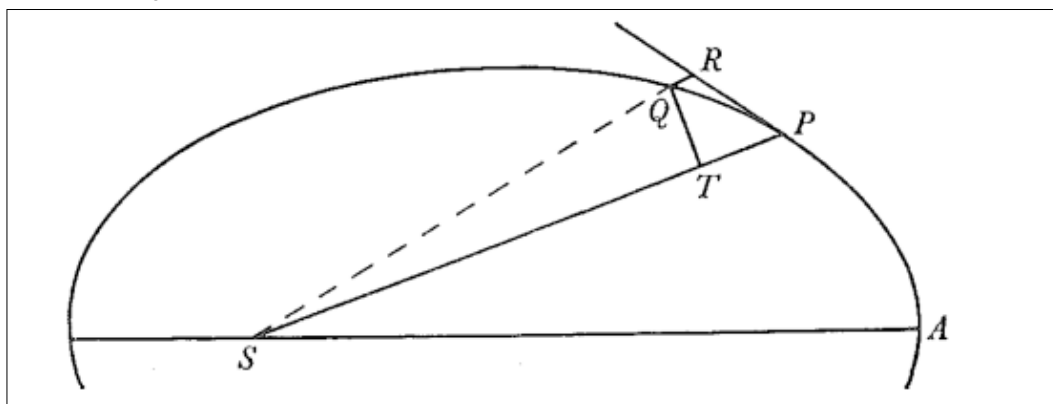
Figura 2: Teorema 1 de Newton



No teorema 1, Newton mostra que, para qualquer força central, temos a segunda Lei de Kepler, e, agora, ele quer quantificar, quer obter a magnitude dessa força que, por sua vez, depende da forma da trajetória da órbita e onde está localizado o centro de força que é o Sol. Esse é o objetivo do teorema 3, no qual Newton obtém uma expressão para a magnitude força, a qual chamamos de *PQRST*.

A demonstração tem como base a Figura 3. Em primeiro lugar, é importante ressaltar que não necessariamente essa curva é uma elipse e, não necessariamente, esse *S* é o foco. É só uma curva genérica. Imagine que o planeta esteja descrevendo essa trajetória e o Sol está localizado em um ponto *S*. Então, o que é *PQRST*? A ideia é a seguinte: suponha que ele está, inicialmente, em *P*, a tendência do planeta devido a sua inércia era continuar de *P* até *R*, mas, agora, ele não vai mais falar de um “chute” instantâneo, mas sim de uma força constante atraindo o planeta para *S*, que vai desviar o planeta da trajetória inercial *PR* e vai fazer o planeta chegar no ponto *Q*.

Figura 3: Força PQRST



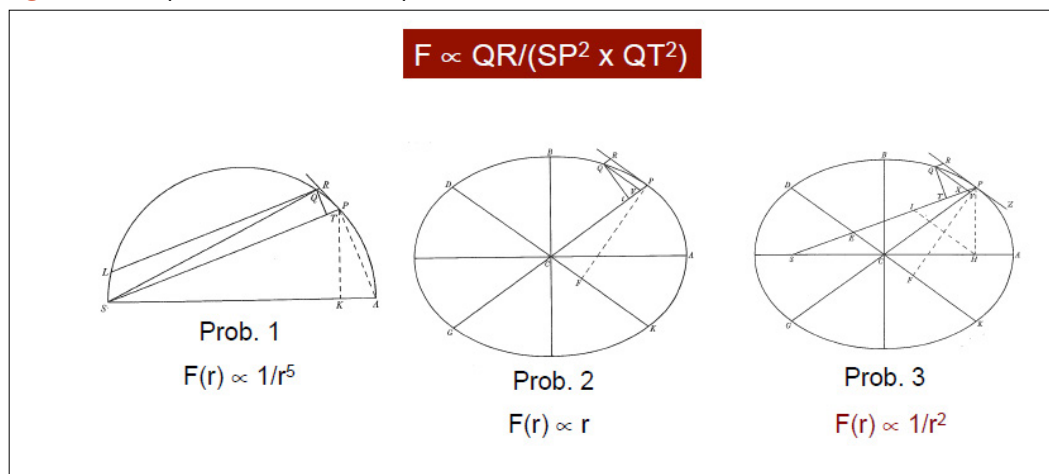
A consideração é infinitesimal, então, supondo que *Q* está muito próximo de *P*, a hipótese que Newton vai fazer é que essa força é constante. Se a força é constante, e dado que força é proporcional à aceleração segundo Newton, vamos ter uma aceleração constante. Se pegarmos a fórmula de Galileu para o movimento com aceleração constante, iremos ver que a aceleração é proporcional à distância e inversamente proporcional ao tempo quadrado. Normalmente, escrevemos $d = \frac{1}{2}at^2$, mas basta isolarmos a aceleração para obter $a = \frac{2d}{t^2}$. Como $F \propto a$, podemos concluir que $F \propto \frac{d}{t^2}$.

Fazendo essa hipótese de força constante, temos o seguinte: a distância de P até Q , na verdade é uma distância na direção da força, então, é justamente esse desvio QR representado na Figura 4, que é o nosso d . E o tempo como vai ser calculado? O tempo vai ser calculado a partir do teorema 1 que é a área que esse segmento varreu e essa área vai ser aproximada - sempre falamos de infinitesimal, pela área desse triângulo SPQ , então, no lugar do tempo vai aparecer a área: base $\times$ altura do triângulo ao quadrado.

$$F \propto \frac{QR}{SP^2 \cdot QT^2}$$

Essa é a fórmula $PQRST$ do Newton. E para que serve essa fórmula? Newton vai usá-la como uma fórmula geral, e ele vai aplicar a diversos casos específicos para achar leis de força diferentes para cada caso. Como é que ele vai fazer isso? Vejam um problema que existe aqui (Figura 4): Q está tendendo a P , na verdade QR está tendendo a zero e QT também está tendendo a zero, quando o ponto Q se aproxima de P . O truque geométrico é o seguinte: para cada forma de órbita e posição do Sol, ele vai atrás dessa relação de $\frac{QR}{QT^2}$ e ele tenta expressá-la em função de SP . SP é a distância entre o solo e o planeta, e ele consegue uma força que é dependente da distância, só para ser bem específico, no manuscrito DE MOTU, Newton resolve três problemas (Figura 4).

Figura 4: Três problemas resolvidos por Newton



No primeiro, ele coloca o Sol em um ponto de uma semi-circunferência, e mostra que quando o Sol está na extremidade, aplicando a fórmula $PQRST$, a força é proporcional a $1/r^5$. Em outras palavras, ele consegue mostrar que QR/QT^2 é $1/SP^3$, onde SP já é a própria distância r .

O segundo problema que Newton resolve, é um problema muito interessante e muito contraintuitivo. Ele pega a elipse e põe o Sol no centro da elipse, *não* no foco, no *centro*. A seguir, ele mostra que, aplicando essa fórmula podemos chegar a uma força proporcional à distância. Considero interessante esse exemplo porque é contraintuitivo, uma vez que temos o oposto da gravitação, quanto maior a distância, maior a força, como se fosse uma mola, uma Lei de Hooke, uma mola conectando o sol ao planeta, na qual ao ficarmos cada vez mais longe do sol a força fica cada vez maior. Entendo que tal exemplo é interessante porque, na verdade, as excentricidades das órbitas são tão pequenas que é meio contraintuitivo imaginar que só por que tiramos o Sol do centro e colocamos num foco, que, na verdade, está bem pertinho, chegamos em um resultado tão diferente qualitativamente. Na verdade, no problema 3, Newton mostra aplicando essa mesma fórmula geral, que para uma elipse com o Sol no foco, a Lei de força é $1/r^2$ e aí ele resolve o problema proposto por Halley.

Permitam-me recomendar um artigo³ que apresenta esse episódio de maneira muito didática e propõe uma atividade para alunos do Ensino Médio com o objetivo de entender o significado da força $PQRST$. Julgo que esta artigo é um excelente exemplo de como é possível levar o raciocínio original para a sala de aula de maneira produtiva.

Algumas lições pedagógicas do primeiro episódio

Quais são algumas possíveis lições que podemos tirar desse episódio? Como podemos justificar o valor educacional do mesmo? Primeiramente, vemos uma conexão mais profunda entre as Leis de Kepler com a Lei da Gravitação Universal de Newton. Conseguimos mostrar que a lei das áreas é uma consequência de assumirmos uma força central, e que a trajetória elíptica com o Sol no foco está relacionada com uma força que cai com $1/r^2$. É muito difícil percebermos a relação entre essas coisas no Ensino Médio.

Para o Newton, força e tempo são entes geométricos, o que fica muito claro neste episódio. Tempo é uma área e força é uma relação entre segmentos, no próprio DE



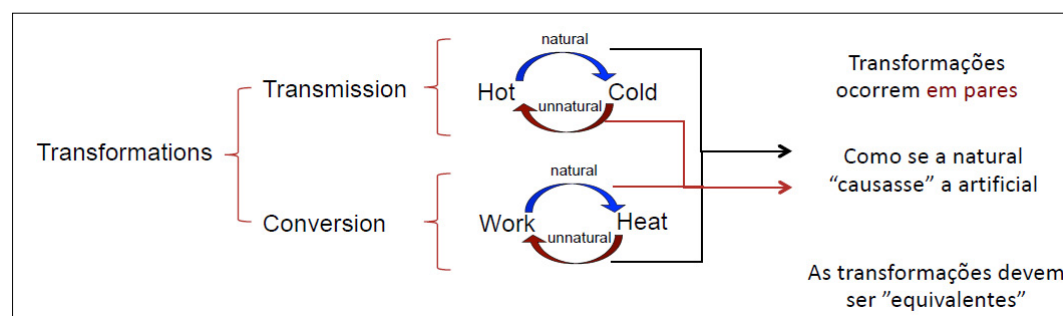
MOTU ele fala em força proporcional ao inverso de um volume. É muito interessante perceber como essas grandezas são geométricas, como o pensamento dele é geométrico. Percebemos também como Newton que a força seja constante para um pequeno Δt , a aproximação linear que fazemos de maneira rotineira. Por fim, nos damos conta de que *PQRST* é uma receita geral, a natureza é que vai nos dizer vai nos dizer qual é a órbita e onde está o sol, para que possamos calcular a lei de força. Trata-se de um excelente exemplo de *hypothesis non figo*!

Episódio 2: A Gênese da Entropia

No segundo episódio, abordaremos a gênese da entropia. Para tanto, discutiremos um trecho de um trabalho que historiadores, em geral, concordam que é o primeiro trabalho em que o conceito de entropia é proposto claramente, embora, ainda, não com esse nome. É um artigo escrito por Rudolf Clausius em 1854, intitulado *Sobre uma forma modificada do segundo teorema fundamental da teoria mecânica do calor*. Olivier Darrigol, um famoso historiador da física, fala que esse é um dos ‘memoirs’ mais estranhos de toda a história da física.

Clausius foi influenciado pelo trabalho de Carnot, teorizando a questão das máquinas térmicas e os processos envolvendo troca de calor e transformação deste em trabalho. A ideia conceitual do artigo está expressa na Figura 5.

Figura 5: Transformações para Clausius



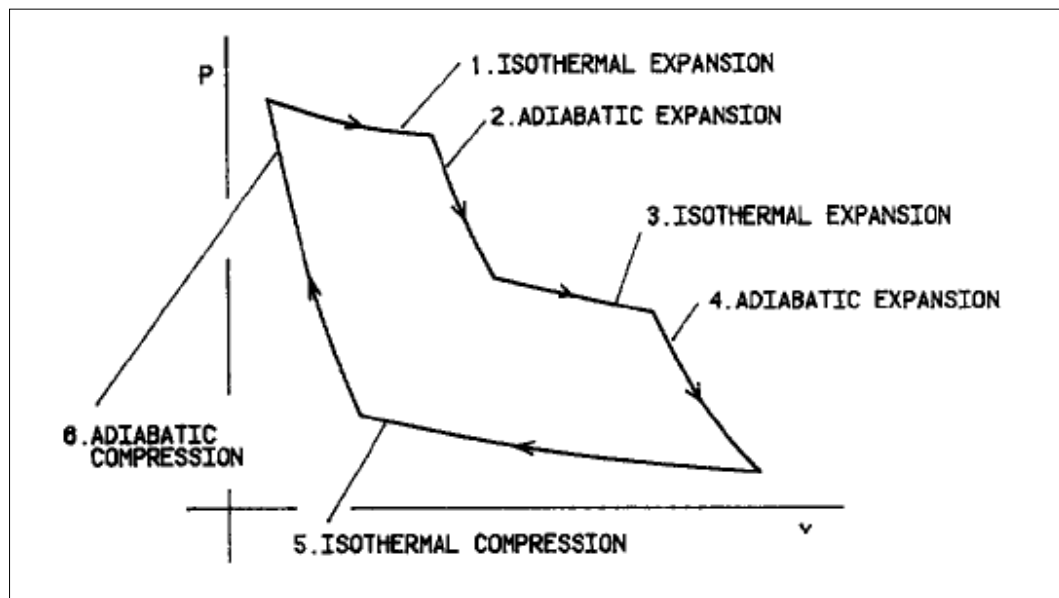
Clausius está propondo falar em transformações de uma maneira geral e dividir transformações em dois tipos: transformações de transmissão e as transformações de

conversão. Transformações de transmissão é muito simples: calor passa do quente para o frio e do frio para o quente. A transmissão de calor do quente para o frio trata-se de um processo *natural*, que acontece espontaneamente. O calor passa do quente para o frio de uma maneira natural, mas do frio para o quente é *artificial*.

Ele faz uma mesma consideração para os processos de conversão de calor em trabalho ou vice-versa. Clausius considera que converter trabalho em calor é um processo natural. É como quando enchemos o pneu da bicicleta, estamos comprimindo o ar e sentimos que ele aquece. Esse é um processo natural, agora o oposto, converter calor em trabalho, especificamente nesses ciclos em máquinas térmicas, é um processo artificial, não é natural.

Essa é a classificação conceitual importante que Clausius coloca no trabalho, e a ideia dele é que em uma máquina térmica operando em ciclos essas transformações ocorrem em pares, é como se a natural *causasse* a artificial. Nesse contexto, ele está falando de ciclos reversíveis e, para ele, essas transformações devem ser equivalentes. Esse é o quadro conceitual. Na sequência, Clausius propõe um ciclo, que representamos na Figura 6.

Figura 6: Ciclo de Clausius (Fonte: CROPPER, 1986).



Clausius propõe um ciclo que vamos chamar do Ciclo de Clausius e que é levemente modificado em relação ao ciclo mais famoso que conhecemos, o Ciclo de Carnot. O Ciclo de Clausius, é muito parecido com o de Carnot, mas em vez de quatro transformações, possui seis. Em um Ciclo de Carnot temos os seguintes processos: expansão isotérmica, expansão adiabática, compressão isotérmica e compressão adiabática. O Clausius coloca mais uma expansão adiabática e uma isotérmica.

Ele quebra a primeira expansão isotérmica em duas; por que ele faz isso? Porque quer separar a quantidade de calor fornecida pelo sistema que é transformada em trabalho, da quantidade de calor que passa pelo sistema da fonte quente para a fonte fria. Ele quer olhar esses processos de conversão e de transmissão separadamente. Clausius propõe o seguinte: na primeira expansão isotérmica, a máquina retira uma quantidade de calor Q da fonte K que está a uma temperatura T . Na segunda expansão isotérmica, ele retira uma quantidade Q_2 de uma fonte K_2 que está na temperatura T_2 . Quando o gás é comprimido isotermicamente, ele vai rejeitar essa *mesma* quantidade Q_2 para uma fonte K_1 a uma temperatura T_1 . Ou seja, aquela quantidade de calor que foi fornecida para o gás na primeira expansão isotérmica é, exatamente, igual ao trabalho líquido desse ciclo.

Com isso, Clausius consegue separar essas duas transformações. Existe uma quantidade de calor Q , que é retirada de uma fonte a uma temperatura T e é *transformada* em trabalho W , e uma quantidade de calor Q_2 que é *transmitida* de uma fonte a temperatura T_2 para outra a uma temperatura T_1 . Aqui temos as transformações de conversão e transmissão. Se revertermos esse ciclo, temos o processo inverso, - se estivermos falando de um refrigerador, não de uma máquina térmica, você vai realizar trabalho e uma quantidade de calor é rejeitada de uma fonte a T_1 para uma fonte T_2 com uma temperatura maior.

Para Clausius há uma *equivalência* entre essas transformações, é como se uma transformação causasse a outra, o que levou a que ele criasse uma grandeza que expresse essa equivalência. Nas palavras dele, essas duas transformações podem ser consideradas fenômenos da mesma natureza e, então, ele fala: temos que encontrar uma lei na qual essas transformações sejam expressas através de quantidades - grandezas matemáticas - na qual o valor matemático dessa transformação vai ser chamado valor de equivalência (*Äquivalenzwert*).

Clausius quer achar alguma grandeza matemática que expresse o seguinte: o valor referente a uma transformação é, numericamente, igual ao da outra trans-

formação. Para tanto, ele faz a seguinte hipótese: ele considera que esse valor de equivalência é proporcional à quantidade de calor transformada/transmitida e à temperatura ou às temperaturas se se tratar de transmissão. Com isso, ele começa a matematizar e escreve uma função que tem essas características: se estivermos falando de transformações de conversão, que é uma função da temperatura vezes o calor convertido em trabalho ou o trabalho convertido em calor:

$$-f(t)Q$$

No caso do ciclo de Clausius, temos calor sendo convertido em trabalho. Se fosse o contrário, teríamos o sinal positivo. Por outro lado, quando temos transmissão, há uma função das duas temperaturas vezes a quantidade calor transmitida:

$$F(t_1, t_2)Q$$

No ciclo de Clausius, fica muito nítido que esses dois processos são equivalentes. Nessa situação, a soma tem que dar zero. Temos aqui o processo natural que é calor Q_2 saindo de T_2 para T_1 e uma quantidade de calor Q , sendo transformada em trabalho. Clausius escreve assim esse processo:

$$F(t_2, t_1)Q - f(t)Q = 0$$

Com isso ele propõe imaginar um outro ciclo de Clausius em que a única diferença é que retiramos uma outra quantidade Q' de uma outra temperatura T' . Somente sobe ou desce aquela primeira isoterma lá do ciclo de Clausius original, fazendo isso chegamos na expressão a seguir,

$$F(t_2, t_1)Q - f(t')Q' = 0$$

igualando as duas ou simplesmente as comparando, concluímos que

$$f(t)Q = f(t')Q',$$

ou seja, a magnitude dessa função de temperatura é inversamente proporcional à quantidade de calor convertida.

Em seguida, Clausius considera um ciclo de Carnot, em que se retira Q' de uma fonte K' que está a uma temperatura T' , e se rejeita Q para uma fonte K de

uma temperatura T e a diferença dessas quantidades é transformada em trabalho. Assim, temos que a quantidade Q foi *transmitida* através do sistema, enquanto $Q' - Q$ foi convertida em trabalho. Matematicamente:

$$F(t', t)Q - f(t')(Q' - Q) = 0$$

Substituindo $f(t)Q = f(t')Q'$ na última equação e eliminando Q , temos a seguinte relação:

$$F(t', t) = f(t) - f(t') ,$$

que expressa $F(t', t)$ em termos de $f(t)$ e $f(t')$ e nos permite expressar essas relações somente em função de $f(t)$.

Retornando a expressão do Ciclo de Clausius, temos:

$$f(t_2)Q_2 - f(t_1)Q_1 + f(t)Q = 0$$

E para o ciclo de Carnot:

$$f(t')Q' - f(t)Q = 0$$

Assim, de maneira geral, relações expressando equivalência de transformações em ciclos reversíveis têm a forma:

$$\sum f(t)Q = 0$$

Já Carnot, mas de uma maneira mais sistemática com Lorde Kelvin, mostra que para um Ciclo de Carnot, a relação entre a quantidade de calor retirada/transmitida de/para a fonte quente/fria (Q_Q e Q_F), e as temperaturas absolutas das fontes (T_Q e T_F) é constante, isto é

$$\frac{Q_Q}{T_Q} = \frac{Q_F}{T_F}, \text{ ou}$$

$$\frac{Q_Q}{T_Q} - \frac{Q_F}{T_F} = 0$$

A origem do conceito de temperatura absoluta de Kelvin, e sua relação com o Ciclo de Carnot, é uma história muito interessante e seria outro episódio com potencial pedagógico, mas não a abordaremos aqui. O que isso nos sugere, por analogia, é que a função de temperatura na verdade é o inverso da temperatura absoluta:

$$f(t) = \frac{1}{T}.$$

O que acontece é que a partir do momento em que essa função de temperatura é o inverso da temperatura absoluta, e se tratarmos com processos infinitesimais, essa somatória passa a ser uma integral

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0$$

Isso, claro, para um ciclo reversível, um processo cíclico, mas reversível, essa coisa de equivalência é característica de um processo reversível. Sobre isso Clausius fala: e se não for reversível? Bom se não for reversível essa soma só pode ser sempre positiva. Por quê? Porque você tem os processos naturais acontecendo e não sendo compensados pelos artificiais. E aí ele dá um exemplo, a transmissão de calor por condução: aproximamos dois blocos e vemos o equilíbrio térmico. Somente temos transmissão de calor do corpo, sem realização de trabalho só tem o processo natural, sem o processo artificial. Portanto, essa relação é positiva, então ele anuncia a lei dessa forma. Sempre maior ou igual a zero vai ser igual sobre o processo reversível.

Lições do episódio 2

O desafio é como motivar nos estudantes a necessidade desse conceito estranho que é a entropia. A tentativa neste caso é olhar no Clausius e tentar ver como isso pode ser feito. O Clausius tem essa distinção entre transformações naturais e artificiais, o ciclo de Clausius nos ajuda a separar as coisas, separar transmissão da conversão, e a resposta que o Clausius dá nesse trabalho inicial, que é o primeiro trabalho que propõe entropia, é a seguinte: entropia é uma grandeza matemática criada para expressar a conexão (ou a equivalência) no caso do ciclo reversível, entre a transmissão de calor entre duas temperaturas e a conversão de calor em trabalho.



Considerações Finais

Discutimos ao longo desse artigo, que trazer fontes primárias para o contexto didático pode contribuir para o aprendizado de Física. Em especial, iniciamos questionando por que precisamos de intermediários? Podemos ir direto à fonte e ter uma certa independência para estudar a própria obra. Para nós que ensinamos física, podemos encontrar maneiras diferentes de explicar as coisas, diferentes demonstrações e caminhos. Isso nos ajuda a entender processos e não somente produtos.

E, principalmente, na formação de professores, trata-se de um recurso muito rico para refletir de maneira crítica sobre a transposição didática. Precisamos ensinar desse jeito? Ou seja, isso realmente nos põe em um outro nível para refletir sobre a transposição didática e nos torna um pouco mais humildes, quando entendemos um pouco melhor a dificuldade de aprendizagem dos nossos alunos ao nos depararmos com fontes originais.

No texto, foram propostos alguns critérios para contribuir com a seleção de fontes primárias que possam auxiliar nesse processo didático. Além disso, foram apresentados dois exemplos em que se procurou mostrar a importância de selecionarmos trechos curtos. O professor deve ter objetivos educacionais muito claros com esses trechos. A chance de encontrarmos boas fontes é maior se pegarmos problemas de conteúdo dos mais tradicionais, ou seja, que fazem parte do que ensinamos, e para os quais os originais dão novos *insights*.

Não precisamos generalizar, mas diria que normalmente é melhor apresentar a discussão histórica *a posteriori*, quer dizer, começar a falar de Leis de Kepler, mostrando a força *PQRST* de Newton, talvez não seja a melhor estratégia, mas depois de aprender pela maneira tradicional, podemos refletir e comparar, então, na formação de professores, por exemplo, acredito que há mais chance de sucesso.

Methodological Considerations on the use of primary sources in Physics Education

Abstract

For over a hundred years we have been teaching and learning physics through textbooks. For members outside this community, it may seem strange to have to learn about “Newton’s laws”, “Maxwell’s equations” or “Noether’s theorem” without consulting the works written by these authors. In this work, I present two episodes that illustrate the use of original sources in the teaching of mechanics and thermodynamics. The purpose of the episodes is to try to extract general methodological aspects that lead to a productive use of primary sources in the teaching of physics.

Keywords: Primary sources, Physics Education, Newton’s Gravitation Law, Entropy, genesis of entropy, Clausius.

Notas

- ¹ Transcrição da palestra proferida no I Encontro sobre História e Filosofia no Ensino de Física do Sul do Brasil, realizado em 2021.
- ² Uma animação bastante didática pode ser encontrada em https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Newtons_proof_of_Keplers_second_law.gif
- ³ PRENTIS, J. et al. Elliptical Orbit $\Rightarrow 1/r^2$ Force. *The Physics Teacher*, v. 45, n. 1, p. 20–25, 2007.

Referências

Episódio 1

NEWTON, I. De motu corporum in gyrum (1684). Original em latim disponível em <https://www.newtonproject.ox.ac.uk/view/texts/normalized/NATP00089>. Trad. para o inglês D. T. Whiteside (Ed.), **Mathematical Papers of Isaac Newton**, v. 6 (1684–1691), Cambridge University Press, 1974, p. 30-91.

PRENTIS, J.; FULTON, B.; HESSE, C.; MAZZINO, L. Elliptical Orbit $\Rightarrow 1/r^2$ Force. **The Physics Teacher**, v. 45, n. 1, p. 20–25, 2007

FEYNMAN, R. **Feynman’s Lost Lecture**. WW Norton, New York, 1996.

Episódio 2

CLAUSIUS, R. **The mechanical theory of heat** (1879). Trad. para o inglês de importantes trabalhos de Clausius sobre entropia. Neste artigo apresentamos o memoir 4, p. 91-109. Disponível em: <https://www3.nd.edu/~powers/ame.20231/clausius1879.pdf>.

CROPPER, W. H. Rudolf Clausius and the road to entropy. **American Journal of Physics**, v. 54, 1986.



Novas perspectivas historiográficas para história de ciências no ensino: discutindo possibilidades para uma educação em ciências mais política¹

Andreia Guerra*

Resumo

Pesquisas no campo da educação em ciências indicam que abordagens históricas em sala de aula são promissoras para um ensino sobre a ciência. Apesar da abrangência dessas pesquisas, o fato delas estarem situadas na fronteira entre a educação em ciências e a História da Ciência faz com que as problemáticas tensionadas por esses dois campos tragam novas considerações, ampliando os olhares e as perspectivas para as abordagens históricas. Nesse artigo, que se constitui num ensaio, pressupondo que justiça social é uma perspectiva importante para a educação em ciências, discutiremos possibilidades para o ensino sobre ciência trazidas por novas perspectivas historiográficas para a História da Ciência. Para tal, apresentaremos brevemente caminhos seguidos pela História da Ciência que levaram a perspectivas historiográficas atuais e a que questões elas se dedicam. Concluimos o ensaio argumentando como esse caminho aponta possibilidades de discussões em aulas de ciências sobre as relações de poder no processo de formação da ciência e para o caráter dinâmico dessas relações.

Palavras-chave: História da Ciência, Educação em Ciências, Justiça Social, História Cultural da Ciência.

* Doutora em História e Filosofia da Ciência na Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Docente do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Centro Federal de Educação Tecnológica de Celso Suckow da Fonseca- RJ (CEFET/RJ). E-mail: andreia.moraes@cefet-rj.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6397-3817>

Introdução

Pesquisadores no campo da educação em ciências indicam que abordagens históricas em sala de aula são promissoras para um ensino sobre a ciência (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; ALLCHIN; ANDERSEN; NIELSEN, 2014; OLIVEIRA; ALVIM, 2021). Diversos caminhos para a implementação de tais abordagens foram estudados. Encontramos propostas que utilizam controvérsias históricas para discutir diferentes visões em torno a resultados experimentais (BRAGA; GUERRA; REIS, 2012; DURBANO; CARVALHO; PRESTES, 2013), que exploram a relação entre ciência e arte (CARVALHO; REIS, 2020; FERNANDES et al., 2017), que abordam experimentos históricos (HEERING, 2015; SILVA et al., 2021), entre muitas outras. Apesar da abrangência dessas pesquisas, novas questões surgem pelo fato da área estar situada na fronteira entre a Educação em Ciências e a História da Ciência (HC), e, assim, ocupar um local em que as problemáticas tensionadas por esses dois campos acabam por trazer novas considerações, ampliando os olhares e as perspectivas para as abordagens históricas. Como um campo de crescente complexidade, a Educação em Ciências tem destacado problemáticas (BENCZE; CARTER, 2020; IDELAND, 2018), indicando que questões antes não consideradas, como justiça social, devem ser priorizadas. Nesse ensaio, pressupondo que justiça social é uma perspectiva importante para a educação em ciências, discutiremos possibilidades para o ensino sobre ciência derivadas do campo da HC. Para tal, começaremos o artigo apresentando brevemente caminhos trilhados pela HC, que levaram a perspectivas historiográficas atuais e a que problemas elas se debruçam, para, então, discutir como esse caminhar aponta questões para a área da História da Ciência e ensino.

O caminhar da História da Ciência: breves considerações

O início da HC é marcado por cientistas escrevendo biografias e narrativas sobre grandes “descobertas” da ciência, como forma de promover os feitos deles próprios. Se no início, a HC se apresenta quase como propaganda dos que fazem ciência, ao longo do tempo ela se constitui como um campo próprio de pesquisa, que tem a ciência como objeto de análise (VIDEIRA, 2007).



Nesse caminhar, muitos físicos, químicos, biólogos, matemáticos dedicam-se a pesquisas de HC, afastando-se de narrativas triunfalistas. A área, então, inicia o processo de institucionalização com congressos, revistas especializadas e pesquisas exclusivas do campo. Por exemplo, em 1931, no Segundo Congresso Internacional de História da Ciência, o físico soviético Boris Hessen (1893-1936) apresenta um artigo denominado “As raízes sociais e econômicas dos Principia de Newton”. De forma simplificada², podemos dizer que o artigo de Boris Hessen apresenta a tese de que a obra de Newton relacionada à mecânica decorre de questões estruturais sociais e econômicas da sociedade mercantil inglesa. As ideias do artigo foram muito debatidas, rejeitadas por muitos e bem recebidas por marxistas, como o físico John Bernal (1901-1971) e o bioquímico Joseph Needham (1900-1995), que desenvolveram projetos de pesquisas em HC, na busca de evidenciar relações diretas entre sociedade e ciência.

Com diferentes enfoques e olhares, a HC segue com pesquisadores, instalados em institutos de ciências, se dedicando ao estudo de como teorias e campos considerados fundamentais para o sucesso da ciência se construíram e se desenvolveram. Nesse processo, o perfil dos historiadores da ciência muda e encontramos pesquisadores com primeira formação em História, Sociologia e outras áreas das humanidades. Esse foi um processo lento que podemos associar à mudança gradual de local de trabalho dos historiadores da ciência, ou seja, a HC passa a ser abrigada nas universidades em departamentos próprios. Por exemplo, em 1966, Bernard Cohen junto a outros historiadores da ciência fundou o Departamento de HC da Universidade de Harvard, inaugurando uma nova prática naquela instituição. A Universidade de Harvard não ficou solitária nesse processo, e ao longo dos anos, novos departamentos de HC surgiram. Apesar de se constituir num movimento, o processo foi lento. No Brasil, por exemplo, em 1986 foi criada a Casa de Oswaldo Cruz, uma “unidade técnico-científica da Fundação Oswaldo Cruz, dedicada à preservação da memória da Fiocruz e às atividades de pesquisa, ensino, documentação e divulgação da história da saúde pública e das ciências biomédicas no Brasil” (<http://www.coc.fiocruz.br/index.php/pt/institucional/quem-somos> visitada em 16 de julho de 2021). Longe dos departamentos de ciências, a HC absorveu de forma crescente e contínua pesquisadores com origem acadêmica nas humanidades.

O encontro com esses pesquisadores trouxe novas questões ao campo. No diálogo mais efetivo com as humanidades, emergem questões que ampliam o olhar para

a prática científica. Uma obra importante nesse caminho é a de Clifford Geertz denominada “A Interpretação das Culturas” (1973). Geertz (1973) aponta que para entender uma cultura devemos reconhecer seus símbolos e práticas, visto ser a cultura uma teia na qual homens e mulheres interagem modificando-a e sendo por ela modificada. Em encontro a esse olhar, alguns historiadores da ciência buscam não mais estudar as representações da ciência, mas sim as práticas dos cientistas, os locais em que tais práticas foram performadas e a cultural material que sustentou tais práticas. A prática científica é tomada, assim, por muitos historiadores da ciência, como uma categoria fundamental de análise histórica (GAVROGLU, 2007). Nesse sentido, a ciência é entendida como performática.

Mesmo que em perspectivas não idênticas, estudiosos como Bruno Latour (1987) e Andy Pickering (1995) destacaram para a importância da agência do não humano na construção da ciência. Considera-se, assim, que o mundo não é repleto de fatos a serem observados e experimentados, e sim constituído de ações, de forma que também os objetos fazem coisas no mundo. Podemos dizer que se propõe uma compreensão da ciência para além da ciência como conhecimento, pois ela comporta dimensões sociais, materiais e temporais

Ainda no caminho de pensar que o mundo é constituído de ações, destaca-se as questões a respeito do conceito de objetividade trazidas por Sandra Harding. A autora (2015) critica a possibilidade de existência de um conhecimento não situado e defende que a ciência e sociedade se co-produzem e se co-constituem. Dessa forma, é colocado em xeque a neutralidade da objetividade científica, da racionalidade e das metodologias seguidas pela ciência, visto que estas refletem e refratam a sociedade na qual são construídas e desenvolvidas (HARDING, 2015).

Nesse processo de encontro com as questões trazidas pelas humanidades, a HC abandona definitivamente narrativas triunfalistas e aquelas que buscam apresentar uma verdade absoluta e universal pré-estabelecida e considera a ciência como uma construção humana. Esse abandono não significou, entretanto, que o campo se constituiu de forma uníssona. Podemos dizer que nesse caminho dois grandes movimentos, que comportam diferentes perspectivas historiográficas, se estabeleceram.

Um que refletindo o período inicial de institucionalização da área busca entender como certa teoria ou campo se construiu e se desenvolveu, entendendo a ciência como um empreendimento coletivo, em que o social não está apartado do processo de construção da ciência. Nesse caso, considera-se que o cientista não é gênio e que

sua produção está ligada a vários outros cientistas e intelectuais e que os debates e controvérsias são constitutivos da ciência. Busca-se, então, entender como certa teoria e campo foram construídos e desenvolvidos, considerando não apenas os sucessos, mas também os fracassos. Entende-se que o cientista cujo nome pode ser atribuído à teoria ou ao campo construiu aquela obra em diálogo com outros cientistas, filósofos, enfim outros estudiosos, e que as teses de muitos desses estudiosos influenciaram o olhar do cientista estudado para o problema analisado. As perguntas de pesquisas dos historiadores da ciência que se colocam nesse primeiro movimento não pressupõem as questões consideradas de cunho social para serem respondidas. Como qualquer historiador, eles voltam-se às fontes primárias (MARTINS, 2005). Porém suas perguntas de pesquisas os fazem privilegiar fontes primárias como artigos científicos, rascunhos de artigos, notas sobre experimentos, relatórios de experimentos, cartas trocadas entre cientistas e outros personagens que enfoquem a teoria ou campo estudado. Ou seja, a escolha das fontes, a pergunta de pesquisa construída os aproximam das questões mais conceituais da ciência e os afastam das de cunho mais social, sem que isso signifique que desconsiderem existir interação entre ciência e sociedade.

Do outro movimento, o que não significa em campo oposto de batalha, integram historiadores da ciência que apontam que o sucesso ou fracasso de certo desenvolvimento científico depende das condições sociais, políticas e retóricas, de forma que se deve estudar sucessos e fracassos da ciência considerando que ambos são sociais. Entendendo que o processo de construção da ciência depende maciçamente de circunstâncias particulares, e, portanto, de pessoas, locais, materiais e de questões políticas, esses historiadores trazem outras perspectivas para as pesquisas (NYHART, 2016). E encaminham o foco de seus estudos para quem foram as pessoas que participaram da construção e desenvolvimento das teorias e campos, em que condições participaram, em quais locais foram estabelecidas ações que possibilitaram essa construção e desenvolvimento, e, também, como o conhecimento estabelecido circulou e como nesse processo perdeu sua localidade. Dessa forma, tomam como fontes primárias, além dos textos que tratam de questões científicas propriamente ditas, relatórios de viagens, cartas diversas, artigos de jornais, ilustrações e fotografias. Nesse caminho, consideram a ciência construída por coisas materiais e por um emaranhado de pessoas, que não apenas aquelas cujos nomes aparecem nos documentos oficiais da ciência. As perguntas que geram pesquisas

para os que trabalham dentro desse movimento voltam-se mais para entender como certas formas de conhecimento se constituíram como ciência, o que tem sustentado a ciência social, material e culturalmente e quem se beneficiou e quem sofreu em sua formação (NYHART, 2016). Esse grupo, assim como o primeiro destacado, não é unânime. Diferentes perguntas de pesquisa guiam os trabalhos, diferentes metodologias são aplicadas e diferentes fontes primárias são estudadas. Encontramos, então, historiadores que tomam a prática científica como categoria de análise, mas também os que estabelecem como categorias fundamentais de análise os papéis assumidos pela ciência ao longo da história, os lugares, os espaços, a comunicação e as ferramentas da ciência.

Desse segundo grupo, há uma ampliação da tese de que a ciência é um fenômeno coletivo. Nos estudos dentro do primeiro movimento, a coletividade é muito atribuída aos cientistas. Do outro grupo o conceito de coletividade se amplia, pois, destaca-se que a ciência é construída por um grupo amplo de pessoas e em diferentes condições, muitas delas consideradas historicamente fora do campo de produção intelectual.

Para melhor discutir como as perspectivas pertencentes ao segundo movimento parecem potencializar certas discussões na educação em ciência, serão apresentadas considerações a respeito da vertente historiográfica da História Cultural da Ciência (HCC).

Uma possibilidade: a História Cultural da Ciência

A HCC busca produzir um relato histórico acerca do conhecimento científico produzido por homens e mulheres ao longo do tempo, em sintonia com os significados culturais que engendram o conhecimento científico estudado (MOURA, GUERRA, 2016; PIMENTEL, 2010). Os historiadores, então, desenvolvem seus estudos com foco nos hábitos e práticas científicas cotidianas (PIMENTEL, 2010). A partir desse olhar, estudam-se as relações entre ciência e sociedade, em especial, o papel do contexto social e institucional na construção do conhecimento científico. Esses pressupostos apontam para categorias de análise como: as práticas científicas, a cultura material, a visual e as representações. (PIMENTEL, 2010).

Vale ressaltar que as práticas científicas não devem ser consideradas exclusivamente práticas de laboratório (MOURA, GUERRA, 2016). Elas abrangem atividades como ler, escrever, debater e questionar, bem como atividades associadas

a apoio financeiro, a formação e interação de grupos de pesquisa, a organização e participação em conferências, a produção e realização de comunicações científicas. As práticas científicas entendidas como práticas culturais são históricas, e, portanto, locais, temporais e contingentes (PIMENTEL, 2007; 2010).

Assim, associar a categoria de análise cultura material às práticas científicas torna-se crucial para se realizar estudos históricos sobre a ciência. Os materiais empregados nos experimentos e nas observações, assim como, os procedimentos envolvidos nessas atividades são fundamentais para se estudar o processo de construção da ciência (PIMENTEL, 2010). Isso significa dar atenção a como são construídos e reconstruídos os instrumentos e experimentos, os materiais usados nesses processos, as regras escritas ou não escritas para as manipulações empreendidas, além de estudar sobre quem foram os cientistas e demais atores sociais que desenvolveram ou participaram dessas performances (PIMENTEL, 2010; JARDIM; GUERRA, 2018). Nesse caminho, reconhece-se uma diversidade de atores sociais produtores da ciência e como a visibilidade ou não deles nos documentos oficiais da ciência relaciona-se às práticas que eles desenvolveram e como essas práticas são compreendidas no contexto sociocultural a que se inserem.

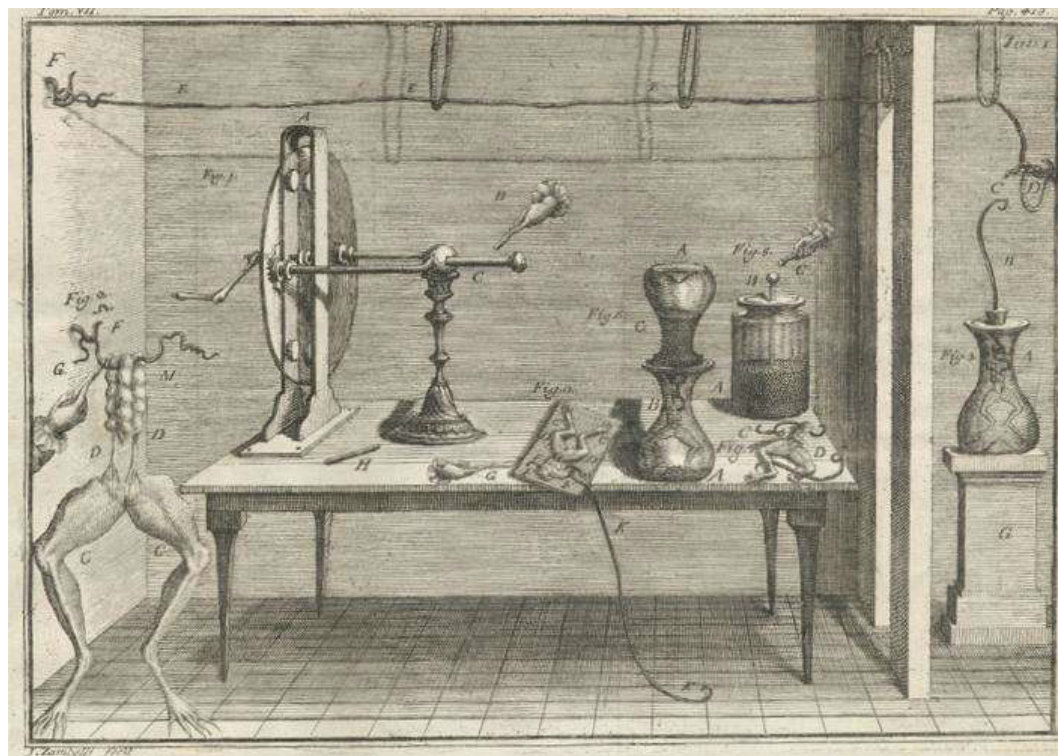
Por meio da categoria de análise cultura visual, é possível discutir a ciência e seus atores sociais através das imagens produzidas ao longo da história e, também, por meio das práticas, materiais e pessoas que participaram da produção dessas imagens (PIMENTEL, 2007). As imagens científicas são fontes históricas primárias, assim como os textos escritos, elas podem ser lidas e interpretadas como qualquer outra fonte primária. Assim como os textos, elas contêm camadas de significados que incluem referências culturais e sócio-históricas, referentes aos contextos em que foram produzidas e lidas (STURKEN; CARTWRIGHT, 2018).

Para melhor exemplificar, destacaremos algumas considerações em torno ao desenvolvimento da eletricidade na Europa, no século XVIII. Naquele contexto, as academias científicas eram espaços privilegiados para produção da ciência. Mas o conhecimento circulava e era produzido também em palestras itinerantes, aulas particulares e demonstrações científicas públicas. Nesses locais, novos temas eram ensinados e investigados (ROBERTS, 1999), fazendo com que muitos filósofos naturais que estavam fora das Academias participassem da ciência. Dentre os temas de maior interesse do grande público se destacam a eletricidade e a anatomia (BERTUCCI, 2007).

Alguns dos que se dedicavam à eletricidade buscavam aplicar efeitos elétricos a fins medicinais. Artefatos construídos nesse contexto e não com fins medicinais, como a garrafa de Leiden, possibilitaram novos experimentos, ampliando a atenção para a eletricidade aplicada a fins medicinais. Muitos experimentos, alguns analisando o efeito da eletricidade na contração de músculos ativos e normais e outros em músculos paralisados, foram produzidos com o objetivo investigar relações entre eletricidade e contração muscular (BERNARDI, 2000). Dentro dos que trabalhavam com o tema havia uma controvérsia. Uns defendiam que as contrações observadas eram oriundas de ações de eletricidade e outros negavam essa relação. O número de estudos em relação ao tema era grande naquele contexto. Por exemplo, no *Journal Medicine*, um periódico francês importante, foram publicados vinte e seis artigos de 1750 a 1780 sobre eletricidade, dos quais doze tratavam de estudos sobre efeitos de choques elétricos em tratamento de paralisias musculares (JARDIM; GUERRA, 2018).

Um filósofo natural que se dedicou ao tema foi o italiano Luigi Galvani (1737-1798). Ele desenvolveu experimentos com animais, tendo a rã como sujeito principal de pesquisa. Para ele, os experimentos relacionando contrações animais com efeitos elétricos eram fundamentais para se compreender as fisiologias animal e humana. Galvani que defendia existir uma eletricidade animal diferente da ordinária desenvolveu vários experimentos que foram rapidamente divulgados. Os questionamentos que recebeu das conclusões que tirou dos primeiros experimentos realizados e as controvérsias em torno à eletricidade animal o levaram a produzir várias alterações nas investigações iniciais. Assim, ele produziu uma série de experiências com rãs e eletricidade em que alterava os instrumentos e as formas de intervenção nas rãs (JARDIM; GUERRA, 2018). Essas alterações precisavam ser cuidadosamente analisadas para destacar as relações entre alterações e os efeitos observados. Fora isso, a manipulação das rãs era um trabalho minucioso e que precisava ser realizado com rapidez, pois as inserções feitas com fios para ligar os corpos daqueles animais às máquinas eletrostáticas e garrafas de Leiden eram delicadas e o corpo da rã precisava ser dissecado e estudado antes de sua putrefação.

Figura 1: Esquema que ilustra o laboratório de Galvani: Em cima da mesa, a esquerda, a máquina eletrostática (*De viribus electricitatis in motu musculari*, Galvani, 1791).



Nos experimentos iniciais, Galvani observou, em um terraço a céu aberto, que rãs penduradas em grades de metal por ganchos de ferro acoplados às suas medulas espinhais sofriam contração muscular. Essas contrações ocorriam, não apenas durante tempestades, mas também, em condições meteorológicas mais estáveis. Respondendo a críticas e para explorar esses resultados, ele desenvolveu experiências em uma sala fechada (JARDIM, GUERRA, 2018). Na sala fechada, realizou experiências, algumas delas representadas na figura 1, em que produziu descarga elétrica através de máquinas eletrostáticas e garrafas de Leiden. Ainda com o objetivo de promover alterações nos experimentos, capazes de gerar respostas sobre a eletricidade animal, Galvani colocou uma rã em um prato de metal, pressionando um gancho de ferro contra ela e observando contração muscular. Verificou, ainda, que ao colocar um isolante elétrico entre o nervo e o músculo, a contração não mais ocorria.

Apoiando-se em trabalhos do período, Galvani argumentou que suas experiências mostravam que as contrações eram observadas, quando ocorria uma espécie de desequilíbrio elétrico nos órgãos do animal ou na adjacência dos metais usados (JARDIM, GUERRA, 2018). Suas conclusões aparecem em um texto não publicado de outubro de 1786, no qual defende que seus estudos indicavam que os efeitos observados se relacionavam aos animais e não aos metais (KIPNIS, 1987). Em artigo publicado de 1791 e no livro (*De viribus electricitatis in motu musculari commentarius*) de 1792 ele apresenta um arcabouço de experiências mais abrangentes das descritas no texto de 1786, que são por ele usadas para sustentar a tese de que as contrações observadas derivam da própria rã, e, portanto, de uma eletricidade animal.

O texto não publicado e publicações artigo e livro de 1791 e 1792 não destacam o nome de pessoas que pudessem ter trabalhado com Galvani na confecção e execução dos experimentos. Porém, se atentarmos aos detalhes das descrições dos experimentos e às ilustrações desses experimentos, podemos inferir que Galvani não trabalhou sozinho e que os que com ele atuaram tiveram uma participação importante naquele processo. Quando estudamos práticas experimentais do período, entendemos que dessas práticas participavam diferentes pessoas responsáveis por confeccionar e desenvolver os experimentos, mas, também, os ilustradores que registravam, por imagens, as etapas do evento e os instrumentos usados. Essas imagens foram fundamentais para a reprodução dos experimentos e a circulação daquele conhecimento.

Registros apontam que o desenvolvimento dos experimentos de Galvani contou com a participação de seu sobrinho Camillo Galvani, que trabalhava no jardim botânico da Universidade e de sua esposa Lucia Galvani (1743-1788), que atuava nas pesquisas do marido e na revisão de seus textos (PICCOLINO; BRASADOLA, 2013). Lucia teve sua formação intelectual em casa. Ela estudou história, religião, latim e italiano, algo comum para mulheres da alta classe da época em Bolonha. Além disso, ela participou de encontros e discussões sobre assuntos científicos que aconteciam nos Salões de Bolonha, espaço frequentado pela aristocracia (PICCOLINO; BRASADOLA, 2013). Bolonha se destacava pelas muitas *learned ladies*, mulheres em posição social igual a de Lucia, com formação semelhante e que trabalhavam em laboratórios de parentes (PAL, 2012).

Em outros lugares da Europa, também, encontramos mulheres, com a formação como a de Lúcia, atuando como ilustradoras e na confecção e desenvolvimento de experimentos de cientistas homens. Anne Marie Lavoisier (1758-1836), por exemplo, trabalhou com o marido, Antoine Lavoisier (1743-1794), produzindo ilustrações dos experimentos contidas na obra do marido, assim como traduzindo textos. Se tomarmos a prática da ilustração, muito desenvolvida nos séculos XVIII e XIX, encontraremos vários atores sociais como mulheres e artistas homens que não tiveram seus nomes registrados nas obras científicas, mas cujos trabalhos foram fundamentais para o desenvolvimento da ciência.

Dessa breve narrativa histórica, podemos apreender algumas questões que subsidiarão as discussões educacionais. O primeiro ponto a destacar é o perfil dos atores sociais registrados nos artigos científicos e documentos oficiais da ciência. A prática experimental exigia, em geral, a participação de diferentes atores sociais, e como muitos experimentos eram desenvolvidos no âmbito privado, várias mulheres, como Lucia Galvani e Anne-Marie Lavoisier, participaram ativamente do desenvolvimento de experimentos (SCHIEBINGER, 1989). Porém o papel das mulheres naquela sociedade e o olhar atribuído a quem era o responsável pela produção da ciência fez com que os nomes dessas mulheres não aparecessem nos artigos científicos e em outros documentos oficiais de registro da produção científica, levando aquelas mulheres à condição de invisibilizadas na ciência.

Na divulgação dos experimentos, as ilustrações tiveram um papel fundamental. Os textos e as ilustrações permitiam que os experimentos fossem reproduzidos, difundidos e gerassem novas questões. Essas ilustrações exigiam dos que as produziam saberes e trocas com os filósofos naturais, para que se obtivesse registros do que se queria representar e divulgar. Não bastava saber desenhar e estar presente no espaço em que o experimento era desenvolvido, era necessário compreender o que deveria ser ressaltado e o que não era relevante de ser representado. Isso vale não apenas para as ilustrações dos experimentos, mas também para todas as outras produzidas no período, como as derivadas de observações celestes, de coleta de plantas etc. Dentre o grupo de ilustradores encontramos mulheres, que, como Anne Marie Lavoisier, tinham estudado desenho e eram parentes de filósofos naturais, mas, também, homens que tinham por profissão produzir ilustrações científicas. Como no caso do desenvolvimento dos experimentos, os atores sociais que participaram dessas práticas ficaram invisibilizados nos documentos oficiais da ciência.

Não apenas as ilustrações e experimentações naquele contexto tiveram participação de atores sociais invisibilizados. No século XVIII, a botânica ganhou destaque. Muito dessa proeminência foi devido ao reconhecimento de que as colônias poderiam fornecer à Europa especiarias naturais, capazes de quebrar monopólios no comércio mantidos até então (SIGRIST; WIDMER, 2011). Expedições naturalistas às colônias foram financiadas e com elas filósofos naturais, ilustradores entre outros aportaram em terras para eles estrangeiras. Muitas práticas científicas como coleta e preservação de plantas, anotações sobre observações dos locais de coleta das plantas, transporte, além de ilustrações foram amplamente desenvolvidas. Essa diversidade de práticas mobilizou os diferentes atores sociais que vieram com as expedições, mas, também, habitantes das colônias (BLEICHMAR, 2011). Encontrar as plantas com características desejadas, entrar no campo para coletar essas plantas, entre outras ações necessárias para o sucesso do empreendimento exigiram o diálogo com os habitantes locais e, também, os conhecimentos desses atores sociais, que muitas vezes trabalharam diretamente com os integrantes das expedições (BLEICHMAR, 2011). Assim como no caso das mulheres europeias e dos ilustradores, os nomes dos habitantes das colônias não constam dos Atlas de Botânica, nem em outros documentos oficiais da ciência. O papel desses atores na Europa naquele contexto histórico os colocou na periferia daquele processo.

A participação de muitos diferentes atores sociais com saberes específicos e trabalhando com diferentes práticas em diferentes locais foi fundamental para o desenvolvimento da ciência. Porém nem todos os nomes foram visibilizados nos documentos oficiais da ciência. Os apagamentos dos nomes de atores sociais que produziram as ilustrações, trabalharam nos experimentos e nas expedições às colônias refletem e refratam uma sociedade em que a ciência era considerada um empreendimento importante e percebida como produzida por aqueles que tinham reconhecimento social para tal, os filósofos naturais. Ou seja, eram os nomes dos filósofos naturais que eram tidos como importantes de serem registrados, e, portanto, guardados.

Em resumo, podemos dizer que essa perspectiva histórica permite-nos entender que o desenvolvimento da ciência decorreu e decorre da ação de diferentes pessoas, que contribuíram, voluntariamente ou não, para a construção de significados científicos. E que a ciência emerge da cultivação de valores particulares que tem sustentado a investigação do mundo material ao redor de nós, em diferentes direções,

tempos e lugares. Assim, tanto as práticas científicas, como a cultura material e visual mudam com o tempo e com o local em que se desenvolvem, refletindo e re-fratando as ações de atores sociais, que atuando dentro e fora do campo da ciência modificam os caminhos da cultura e os papéis dos diferentes atores sociais nessa cultura. Dessa forma, a ciência decorre de um processo de construção dinâmico, no qual movimentos sociais podem mobilizar ações capazes de alterar o caminhar da ciência, seja visibilizando atores sociais até então invisibilizados, seja alterando práticas já estabelecidas.

Algumas implicações para a educação em ciências

No campo da educação em ciências, muitos pesquisadores defendem que um dos objetivos do ensino de ciências é promover discussões sobre a ciência (MARTINS, 2015; MAURINES; BEAUFILS, 2013; DAGHER; ERDURAN, 2016), de forma a contribuir para compreensões sobre as relações entre ciência e sociedade. A abordagem histórica na educação em ciências é um dos caminhos indicados para alcançar tais objetivos (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; ALLCHIN; ANDERSEN; NIELSEN, 2014). Porém, com base nas considerações anteriores, entende-se que diferentes discussões sobre as relações entre ciência e sociedade são possíveis a partir de diferentes perspectivas historiográficas.

As escolas que geram reflexões e dados para as pesquisas desenvolvidas no âmbito do grupo de pesquisa (NIEHCC – Núcleo de Investigação em História da Ciência e Cultura) que atuam levam ao encontro de pesquisadores (BENCZE; CARTER, 2020) que defendem que a educação em ciências deve-se voltar para questões relacionadas à justiça social. Considerando que a ciência tem um papel primordial no mundo contemporâneo, compreende-se que discussões sobre justiça social passam por reconhecer as relações de poder estabelecidas ao longo do processo de construção da ciência (IDELAND, 2018). Dessa forma, ao nos alinharmos com o campo da HC e ensino, entendemos que as compreensões sobre as relações entre ciência e sociedade nas aulas de ciências passam por entendimentos dessas relações de poder.

Reflexões sobre a HC, como as encaminhadas nas seções iniciais desse artigo, levaram-nos ao encontro da HCC, como um caminho para alcançar os objetivos destacados. A partir desse aporte historiográfico, desenvolvemos pesquisas empíricas que apontaram que a HCC tem o potencial de construir espaços em sala de aula

que permitem aos estudantes refletir sobre o que tem sustentado a ciência social, cultural e materialmente; e quem se beneficiou e quem sofreu em sua formação.

Tomemos como exemplo a pesquisa desenvolvida por Moura, Jager e Guerra (2020), numa uma escola prisional feminina, em aulas de ciências a partir do estudo do desenvolvimento da Botânica, ao longo do século XVIII, na perspectiva da HCC. Com base no contexto sociocultural daquelas estudantes, que cumpriam penas por tráfico de drogas e entraram no tráfico por conta de parentes, a professora desenvolveu atividades com o intuito de problematizar a participação de mulheres nas práticas científicas em torno ao desenvolvimento da Botânica no contexto sociocultural delimitado. Naquele ambiente educacional, as alunas discutiram o papel das mulheres na construção da Botânica, o papel atribuído às mulheres naquela sociedade, o papel das mulheres brasileiras na ciência atualmente e a posição delas, mulheres com privação de liberdade, na sociedade brasileira. Os enunciados das alunas trouxeram, para a sala de aula, questões a respeito do seu cotidiano e vinculadas à participação feminina na ciência, e, em particular na ciência desenvolvida no Brasil. Isso permitiu à professora problematizar as participações de diferentes atores sociais na produção da Botânica, e que alguns desses atores ficaram invisibilizados nos documentos oficiais da ciência. As alunas e professora discutiram, ainda, que as visibilidades ou não de tais participações, por refletirem e refratarem a cultura em que a ciência se produz, são questões locais e temporais e, portanto, dinâmicas, no sentido em que elas podem ser alteradas pelas ações de diferentes atores sociais na sociedade e na ciência. Outros trabalhos também realizados no âmbito do grupo de pesquisa (JARDIM; GUERRA; FERNANDES, 2021, CILENTO; GUERRA, 2021; CARDINOT, 2020) apontaram que a perspectiva da HCC, ao promover discussões sobre práticas e hábitos desenvolvidos em cada contexto histórico analisado, possibilitou compreensões de que práticas produzidas por atores sociais não considerados oficialmente do mundo da ciência foram fundamentais para sua construção e estabelecimento. E, assim, nessas aulas surgiram questões sobre como a visibilidade ou não dos diferentes atores sociais na ciência relaciona-se às práticas que eles desenvolveram e ao contexto sociocultural a que se inserem.

Esses resultados vão ao encontro de pesquisas mais recentes da área de HC e ensino (GANDOLFI, 2018; 2020) que, refletindo discussões contemporâneas do campo da HC e do campo da educação em ciência, apontam para potencialidades da perspectiva historiográfica da História Global (ROBERTS, 2009) para o ensino



sobre ciência. Gandolfi (2020), por exemplo, apresenta resultados de uma pesquisa empírica que indicam que tal vertente historiográfica ao promover uma contextualização da ciência num estágio global, possibilita compreensões de que a ciência é resultado de conexões globais ao redor do mundo. E com isso essa perspectiva historiográfica se apresenta como um caminho para discutir questões relevantes sobre os aspectos sócio-institucionais do desenvolvimento da ciência, como a diversidade de colaborações e intercâmbios interculturais, que apontam para narrativas menos eurocêntricas e mais diversas sobre a formação da ciência.

Nesse ensaio, apresentei considerações sobre a História da Ciência e da educação em ciências que sugerem que certas perspectivas historiográficas, como a HCC, ao serem consideradas nas abordagens históricas da ciência em sala de aula têm o potencial de proporcionar discussões sobre as relações de poder no processo de formação da ciência e para o caráter dinâmico dessas relações. E com isso promover discussões que apontem para aulas de ciências numa perspectiva mais social e política do que aquelas nas quais as dimensões conceituais e epistemológicas da ciência são as enfocadas.

New perspectives to science teaching from a historical approach: possibilities for a more political science education

Abstract

Studies indicate that historical approaches in science teaching classrooms hold promise for teaching the nature of science. Despite the scope of these studies, the fact that they are located on the border between science education and the History of Science brings new agenda to the historical approaches. In this paper, assuming that Social Justice is an important agenda for science education, the possibilities for teaching about science brought from new historiographical perspectives are discussed. To this end, the paths followed by the History of Science that led to current historiographical perspectives are discussed, and to what issues they are dedicated. The paper ends by arguing how the new historiographical approaches allow discussions in science teaching concerning the power relations in the development of science and the dynamic character of these relationships.

Keywords: History of Science, Science teaching, Social Justice, Cultural History of Science.

Notas

¹ A pesquisa contou com apoio do CNPq.

- ² O artigo de Boris Hessen tem nuances e foi muito debatida seja no contexto de sua publicação, seja posteriormente por historiadores da ciência. Para melhor conhecer os fundamentos do artigo e os debatidos dele derivados ver Olival Freire (1993) *Sobre as Raízes Sociais e Econômicas do Princípio de Newton*, Revista da SBHC, n. 9, p. 51-69, 1993.

Referências

- ALLCHIN, D.; ANDERSEN, H.; NIELSEN, K. Complementary approaches to teaching nature of science: Integrating student inquiry, historical cases, and contemporary cases in classroom practice. **Science & Education**, v. 98, n. 3, p. 461–486, 2014.
- BENCZE, J. L.; CARTER, L. Capitalism, Nature of Science and Science Education: Interrogating and Mitigating Threats to Social Justice. In: YACOUBIAN, H.; HANSSON, L. **Nature of Science and Social Justice**, Cham: Springer, 2020. p. 59-78.
- BERNARDI, W. The controversy on animal electricity in eighteenth-century Italy: Galvani, Volta and others. In: BEVILACQUA e FREGONESE (Eds) **Nuova**. Milan: Hoepli, 2000, p. 101-114.
- BERTUCCI, P. Sparks in the dark: the attraction of electricity in the eighteenth century. **Endeavour**, v. 31, n. 3, p. 88-93, 2007.
- BLEICHMAR, D. The Geography of Observation: Distance and Visibility in Eighteenth-Century Botanical Travel. In: DASTON, L.; LUNBECK, E. (Eds) **Histories of Scientific Observation**. Chicago: University of Chicago Press, 2011. p. 373-395.
- BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. The role of historical-philosophical controversies in teaching sciences: The debate between Biot and Ampère. **Science & Education**, v. 21, n. 6, p. 921–934, 2012.
- BURKE, P. **O que é história cultural?** Rev. e Ampl. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2008.
- BURKE, P. Cultural History as Polyphonic History. **Arbor**, v. 186, n. 743, p. 479-486, 2010.
- CARDINOT, D. **Relações socioculturais e práticas científicas nos processos de institucionalização e profissionalização da ciência no Brasil durante a segunda metade do Século XX**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Educação) - Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica de Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, RJ, 2020.
- CARVALHO, T., REIS, J. C. Diálogos entre Ciência e Arte: uma leitura a partir da obra de Remedio Varo para um ensino sobre as ciências **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 1, p. 173, 196, 2020.
- CILENTO, J.; GUERRA, A. Discussões em aulas de Física sobre a participação de mulheres na ciência, a partir da obra Diálogos sobre a Pluralidade dos Mundos. **Alexandria: Revista em Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 14, n. 1, p. 249-275, 2021.
- DAGHER, Z. R., ERDURAN, S. Reconceptualizing the nature of science for science education. **Science & Education**, v. 25, n. 1–2, p. 147–164, 2016.
- DURBANO, J. P. M.; CARVALHO, E. C.; PRESTES, M. E. B. Controvérsias científicas como recurso para avaliar percepção sobre o papel da subjetividade na ciência. **Revista de Ensino de Biologia da Associação Brasileira de Ensino de Biologia (SBEnBio)**, n. 6, p. 122–134, 2013.



FERNANDES, R. F. A. M.; PIRES, F. F.; FORATO, T. C. M.; SILVA, J. A. Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 509-529, 2017.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

GANDOLFI, H. Different People in Different Places Secondary School Students' Knowledge About History of Science. **Science & Education**, v. 27, p. 259-297, 2018.

GANDOLFI, H. "It's a lot of people in different places working on many ideas": possibilities from global history of science to Learning about nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, p. 1-38, 2020. <https://doi.org/10.1002/tea.21671>.

GAVROGLU, K. **O passado das ciências como história**. Porto: Porto Editora, 2007.

HARDING, S. **Objectivity and Diversity: Another Logic of Scientific Research**. Chicago: The University of Chicago Press, 2015.

HEERING, P. Make-Keep-Use: Bringing Historical Instruments into the Classroom. **Interchange**, v. 46, n. 1, p. 5-18, 2015.

IDELAND, M. Science, Coloniality, and the "Great Rationality Divide" - How Practices, Places, and Persons Are Culturally Attached to One Another in Science Education. **Science & Education**, v. 27, p. 783-803, 2018.

JARDIM, W.; GUERRA, A. Práticas científicas e difusão do conhecimento sobre eletricidade no século XVIII e início do XIX: possibilidades para uma abordagem histórica da pilha de volta na educação básica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 3, p. 1-16, 2018.

JARDIM, W.; GUERRA, A.; FERNANDES, H. History of Science in Physics Teaching Possibilities for Contextualized Teaching?. **Science & Education**, v. 30, p. 609-638, 2021.

KIPNIS, N. Luigi Galvani and the debate on animal electricity, 1791-1800. **Annals of Science**, v. 44, n. 2, p. 107-142, 1987.

LATOUR, B. **Science in Action: how to follow scientists and engineers through society**. Cambridge: Harvard University Press, 1987.

MAURINES, L.; BEAUFILS, D. Teaching the nature of science in physics courses: the contribution of classroom historical inquiries. **Science & Education**, v. 22, p. 1443-1465, 2013.

MARTINS, A. F. P. Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em "temas" e "questões". **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, 703-737, 2015.

MARTINS, L. L. A. P. História da Ciência: Objetos, Métodos e Problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

MOURA, C. B.; GUERRA, A. História Cultural da Ciência: Um Caminho Possível para a Discussão sobre as Práticas Científicas no Ensino de Ciências? **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 3, p. 725-748, 2016.

MOURA, C.; JAEGER, I.; GUERRA, A. Teaching about Science in/for the Global South: Lessons from a Case Study in a Brazilian Classroom. In: YACUBIAN, H. A.; HANSSON, L (Eds) **Nature of Science and Social Justice**. Cham: Springer, 2020, p. 137-156.

- NYHART, L. Historiography of the History of Science. In: Lightman, B. (Ed) **A Companion to the History of Science**, Oxford: Welley Blackwell, 2016, p. 7-22.
- OLIVEIRA Z.; ALVIM, M. Dimensões da abordagem histórica no Ensino de Ciências e de Matemática. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 38, n. 1, p. 742-774, 2021.
- PAL, C. **Republic of Women: Rethinking the Republic of Letters in the Seventeenth Century**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
- PICCOLINO, M; BRESADOLA, M., **Shocking Frogs: Galvani, Volta, and the Electric Origins of Neuroscience**. Oxford University Press, 2013
- PICKERING, A. **The mangle of practice: time, agency & science**. Cambridge: The University Cambridge Press, 1995.
- PIMENTEL, J. La Revolución Científica in História de Europa. In: ARTOLA, M. (Org.), **Europa**. Madrid: S.L.U. Espasa Libros, 2007, p. 163-238.
- PIMENTEL, J. ¿Qué es la historia cultural de la ciencia? **Arbor**, v. 186, n. 743, p. 417-424, 2010.
- ROBERTS, L. Going Dutch: Situating science in the Dutch enlightenment. In. The Sciences in Enlightened Europe. In: CLARK, W.; GOLINSKI J.; SCHAFFER S. **Sciences in Enlightened Europe**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. p. 350-388.
- ROBERTS, L. Situating Science in Global History: Local Exchanges and Networks of Circulation. **Itinerario**, v. 33 n. 1, p. 9–30, 2009.
- SARUKKAI, Indian experiences with science: considerations for history, philosophy, and science teaching. In: MATTHEWS, M. R. (Ed.), **International Handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Dordrecht: Springer, 2014, p. 1691–1719.
- SCHIEBINGER, L. **The Mind Has No Sex? Women in the origins of Modern Science**. Cambridge: Harvard University Press, 1989.
- SIGRIST, R.; WIDMER, E. Training links and transmission of knowledge in 18th Century botany: a social network analysis. **REDES - Revista hispana para el análisis de redes sociales**, v. 21, n. 7, p. 347-387, 2011.
- SILVA, A. P.; PINTO, J. A. F.; VICENTE, S. A.; GONÇALVES, G. O Caso das Três Pilhas: re-construindo aparatos históricos para ensinar e aprender física. **Revista Ciências & Ideias**, v. 12, n. 2, p. 192-204, 2021.
- VIDEIRA, A. Historiografia e História da Ciência. **Escritos – Revista da Fundação Casa de Rui Barbosa**, n. 1, p. 111-158, 2007.



O Fenômeno Cultural do Misticismo Quântico: possibilidades e perspectivas de investigação

Marcia Tiemi Saito*

Resumo

O fenômeno cultural do misticismo quântico tem provocado reações diversas entre físicos, educadores e pesquisadores da área de Ensino de Física, pela grande popularização que o termo “quântico” adquiriu nas últimas décadas, em âmbitos que transcendem a área da física. Trata-se de um fenômeno complexo e multifacetado, que toca em questões como a natureza da ciência, as fronteiras entre o conhecimento científico e o não científico, questões de fundamentos da Física Quântica e suas implicações para a ciência e para a Educação Científica (EC). O objetivo do presente trabalho é apresentar um panorama dos principais temas relacionados a esse fenômeno, que têm sido explorados nos últimos anos, a fim de identificar novas possibilidades de pesquisa. Para isso, os temas serão apresentados a partir das perspectivas histórica, filosófica, social e educacional. Conclui-se que ainda existem muitas possibilidades de análise desse fenômeno, nas áreas de história, filosofia e sociologia da ciência e na compreensão e na busca de soluções para os seus impactos na ciência e na EC. Espera-se que este trabalho possa contribuir para fornecer um panorama geral dos problemas em aberto, que seja um ponto de partida para novas investigações e que inspire outros pesquisadores a explorarem o tema.

Palavras-chave: Física Quântica, Misticismo, Popularização da Ciência, Circulação do Conhecimento, Ciência e Cultura.

* Doutora em Ciências com concentração em Ensino de Física pela Universidade de São Paulo. Docente no Instituto Federal do Paraná, Campus Foz do Iguaçu, Brasil. E-mail: marcia.saito@ifpr.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3959-4833>

Introdução

O fenômeno cultural do misticismo quântico é um fenômeno bem conhecido entre físicos, educadores e pesquisadores da área de Ensino de Física, que costuma provocar reações diversas, desde interesse e curiosidade, passando pelo rechaço, a indiferença até a ridicularização, o desprezo e o combate de caráter dogmático (PESSOA JR, 2011; SAITO, 2019). Este fenômeno se evidencia e pode ser considerado como um “fenômeno cultural”, principalmente pela grande popularização que o termo “quântico” adquiriu nas últimas décadas, em âmbitos que transcendem a área da física, se manifestando em diferentes setores da cultura e da sociedade, como as artes, a literatura, a medicina, a psicologia, a religião, a política, o direito, entre outros (MOURA; SANTOS, 2017).

Em uma simples pesquisa em sites de busca na internet, por exemplo, é possível encontrar cerca de 9 milhões de entradas para o termo “medicina quântica”; 3 milhões para “cura ou terapia quântica”; 6 milhões para “psicologia quântica”, 3 milhões para “mente quântica” e quase o mesmo número para “tantra quântico” (CRUZ, 2011). Além desses resultados, também é comum encontrar diversos produtos sendo comercializados e que também fazem alusão ao termo “quântico”, como livros, apostilas, cursos (inclusive, de pós-graduação), workshops, florais, suplementos nutricionais, entre outros (ROCHA, 2015; OLIVEIRA, 2018). Devido a essa ampla popularização e ao fato de que, na maioria das vezes, a palavra “quântica” aparece vinculada a uma espécie de misticismo ou espiritualismo, esse fenômeno acabou ficando conhecido como “misticismo quântico” (GRIM, 1982; PESSOA JR, 2011).

Contudo, diante dessa ampla popularização e das reações da comunidade de pesquisadores diretamente afetada, surgem alguns questionamentos: qual a origem desse fenômeno? Seria razoável supor que ele surgiu de forma totalmente independente da história da própria Física Quântica (FQ) e do contexto de sua formulação? Será que podemos ter controle sobre os usos que são feitos das teorias científicas?

Trata-se, portanto, de um fenômeno complexo, que toca questões que envolvem a natureza do conhecimento científico, as fronteiras com o conhecimento não científico, os efeitos sociais da circulação das teorias científicas, questões filosóficas e de fundamento da própria FQ, as suas implicações para a Educação Científica (EC), entre outras.



Apesar da amplitude e da complexidade das questões envolvidas, nota-se que elas podem ser agrupadas em perspectivas de análise específicas, que, ainda que se sobreponham em alguns aspectos, podem ser delimitadas de acordo com a sua natureza preponderante. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho é apresentar um panorama dos principais temas relacionados ao fenômeno cultural do misticismo quântico, que têm sido explorados nos últimos anos, a fim de identificar diferentes possibilidades de investigação.

Para isso, será feito um mapeamento dos principais temas ligados ao fenômeno cultural do misticismo quântico, a partir das seguintes perspectivas: (1) Perspectiva histórica, que visa explorar as origens histórico-sociais do fenômeno; (2) Perspectiva filosófica, a qual visa identificar debates e correntes filosóficas envolvidos no surgimento e no desenvolvimento do misticismo quântico; (3) Perspectiva social e educacional, que busca identificar e compreender as implicações sociais do fenômeno, em especial, para a Ciência e para a EC, identificar as comunidades, interesses e disputas envolvidos, e refletir sobre possibilidades discutir e problematizar os diferentes aspectos desse tema em sala de aula.

Por fim, é importante ressaltar que o presente trabalho não pretende esgotar o assunto e suas possibilidades de análise, mas trazer um panorama inicial a respeito de algumas delas. Dessa forma, espera-se que esse mapeamento inicial possa ser ampliado posteriormente, a fim de aprofundar a compreensão desse complexo e multifacetado fenômeno.

Perspectiva Histórica

Explorar o fenômeno cultural do misticismo quântico, do ponto de vista histórico, pode ser bastante enriquecedor para a reflexão a respeito dos possíveis desdobramentos sociais e culturais da circulação do conhecimento científico. Principalmente, porque sua história reúne tanto períodos em que se evidenciam as influências do contexto sociocultural na formulação de uma teoria científica específica – a FQ – quanto períodos em que, ao contrário, os debates presentes na sua formulação podem influenciar a sociedade e a cultura no geral, dando origem a novos usos e interpretações desta, inclusive não científicos.

A história da FQ pode ser separada em três estágios de elaboração (PATY, 2005). O primeiro deles (de 1900 a 1916), se refere à quando a FQ foi constituída como um

novo domínio para os fenômenos e sistemas físicos, mostrando a sua especificidade e correspondência a um campo do conhecimento próprio. Esse período é caracterizado por um confronto entre a teoria clássica vigente naquele momento e os dados experimentais – como no estudo do problema da radiação de corpo negro, do efeito fotoelétrico, do calor específico dos sólidos, entre outros – na tentativa de compreender esse novo campo da física, o que caracterizaria o mundo microscópico e suas diferenças em relação ao mundo macroscópico (PATY, 2005). Nesse ponto, pode-se perceber o cerne de muitas das questões exploradas por alguns místicos quânticos: seria o estudo dos fenômenos quânticos uma “nova física”? O que exatamente caracterizaria esse novo campo da física? Qual a diferença entre a especificidade da FQ reconhecida pela física e a defendida por algumas linhas do misticismo quântico?

O segundo período da história da FQ (de 1917 a 1926), por sua vez, se refere ao estabelecimento da Mecânica Quântica (MQ) propriamente dita, sendo marcado pela elaboração de ideias, conceitos e esquemas mais precisos do ponto de vista teórico e mais abrangentes do ponto de vista experimental. Por um lado, o desenvolvimento da teoria nesse período se mostrou eficiente e poderoso com relação à formalização matemática, mas por outro, a descrição física correspondente não estava muito clara (PATY, 2005). Os diferentes formalismos da MQ elaborados nesse período possuíam distintas influências filosóficas. Por um lado, havia a tradição que se caracterizava por uma atitude mais positivista (ou “operacionista”), que se recusava em falar de grandezas não observáveis. Essa linha de pesquisa era conduzida principalmente pelos físicos Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli, Max Born, Niels Bohr e Hendrik Kramers, e deu origem à Mecânica Matricial. Por outro, havia uma tradição caracterizada por uma postura realista, que se prendia fortemente a modelos visualizáveis, associados à Física Ondulatória Clássica. Essa linha de pesquisa partia do trabalho de Louis de Broglie, sobre a dualidade onda-partícula, e culminou na elaboração da Mecânica Ondulatória, por Erwin Schrödinger (PESSOA JR, 2006). A equivalência entre os dois formalismos foi demonstrada por Schrödinger, no próprio ano de 1926, porém pode-se dizer que as discussões de fundamento sobre como interpretar esse formalismo ainda permanecem em aberto, até os dias de hoje. Assim, a partir do estudo desse período da história da FQ, uma questão interessante a ser explorada seria o quanto e como a presença desses diferentes formalismos e influências filosóficas propiciaram direta ou indiretamente o desenvolvimento do misticismo quântico. Um ponto importante a ser destacado é que, em geral, no discurso dos místicos



quânticos, aparece uma rejeição muito grande às posturas filosóficas taxadas como materialistas e uma defesa de posturas consideradas mais idealistas em relação à física e à ciência como um todo. Quais seriam exatamente as características dessas posturas? Será que há uma deturpação das características das correntes filosóficas materialistas e idealistas por parte dos místicos quânticos? Existiria uma relação que se buscou estabelecer entre essas influências filosóficas presentes na história da FQ e os discursos defendidos por eles?

Por fim, o terceiro período da história da FQ (de 1927 em diante) é caracterizado pelas tentativas de interpretar conceitualmente a estrutura teórica da MQ e pelos desenvolvimentos teóricos com relação à dinâmica dos processos quânticos. Uma particularidade desse período é que as interpretações não eram expressas somente em termos de um novo conteúdo físico para as entidades matemáticas, como nas teorias físicas precedentes na história, mas lidavam também com pressupostos e questões filosóficas relacionadas ao conhecimento científico, como o status da observação com relação ao conhecimento e à realidade, a distinção entre sujeito e objeto, a causalidade e o determinismo (PATY, 2005). Esse período é marcado por importantes desenvolvimentos teóricos – como o Princípio da Incerteza e o Teorema de Bell – por debates de cunho filosófico entre os físicos – como os famosos debates entre Einstein e Bohr – pela delimitação de alguns problemas de fundamento – como o problema da medição – e pelo surgimento e esclarecimento das diferentes interpretações da FQ (KRAGH, 1999; FREIRE JR, 2015). Nesse período, portanto, ficam claros os principais debates sobre os fundamentos da FQ: os debates em torno da causalidade e do determinismo na FQ; sobre a completude, o realismo e a não-localidade; e sobre o problema da medição e o papel da consciência, os quais consistem nos principais problemas citados e explorados pelo misticismo quântico (SAITO, 2019). Dessa forma, ao investigar as raízes históricas do fenômeno cultural do misticismo quântico, é possível notar que muitos dos debates e argumentos elaborados pelos adeptos e propagadores desse fenômeno se encontram em lacunas e discussões dentro da própria FQ. Contudo, algumas questões possíveis de serem mais bem exploradas seriam: existe diferença entre o tratamento desses problemas por parte dos físicos e dos místicos quânticos? Por que algumas interpretações são reconhecidas pela física, sendo consideradas científicas, e outras não? Quais são as diferenças entre elas? Será que existe alguma deturpação dos conceitos e dos problemas de fundamentos da FQ, quando são abordados pelos místicos quânticos?

Para uma investigação a respeito dessas questões históricas, referentes a como os debates presentes na comunidade da FQ acabaram influenciando na gênese e no desenvolvimento do fenômeno cultural do misticismo quântico, inicialmente, é importante compreender os próprios debates de fundamentos da FQ. Para isso, Kragh (1999) e Pessoa Jr (2006) fazem um bom panorama histórico sobre a história da FQ e seus problemas de fundamento. Para um enfoque mais filosófico conceitual, ver Jammer (1966), Beller (1999), Pessoa Jr (2003), Paty (2005). Para um panorama e relações mais concretas entre os problemas de fundamentos da FQ e suas implicações socioculturais, que culminaram no fenômeno do misticismo quântico, ver Freire Jr et al. (2011) e Saito (2019).

Além da influência histórica dos debates mais internos à comunidade da FQ, a respeito de seus problemas de fundamento, também houve a influência do contexto histórico-social mais amplo na gênese e no desenvolvimento do fenômeno cultural do misticismo quântico.

Um contexto histórico-social importante nesse processo é o contexto da República de Weimar (de 1918 a 1927), na Alemanha, momento anterior à consolidação da MQ. Forman (1983) conta que, nesse período, o ambiente intelectual predominante era hostil aos físicos, devido à tendência intelectual que passou a predominar nesse país, que consistia em uma “filosofia da vida” existencialista, neorromântica, que se alimentava de crises e era marcada pelo antagonismo em relação à racionalidade analítica e às ciências exatas e suas aplicações técnicas. Por conta disso, a atitude predominante dos cientistas alemães foi a de procurar acomodar seu discurso e a ideologia científica a esse ambiente intelectual hostil. Para Forman (1983), a ansiedade dos físicos alemães em reconstruir os fundamentos da física pode ser interpretada, pelo menos em parte, como uma reação ao prestígio negativo dessa ciência nessa época.

Após a Segunda Guerra Mundial, no contexto da Guerra Fria, a influência do contexto histórico-social no advento do fenômeno do misticismo quântico passou a ser um pouco mais direto. Nesse período, a Interpretação da Complementaridade da FQ passou a perder sua hegemonia, que havia perdurado aproximadamente de 1930 a 1940. Na URSS, as ideias de Bohr eram rejeitadas, por serem consideradas idealistas e, nos EUA, a atitude pragmática da maioria dos físicos não favorecia o entendimento mais profundo das suas ideias. Esse contexto favoreceu o surgimento de novas interpretações da FQ (FREIRE JR, 2015).



Além disso, Kaiser (2011) ressalta que, nesse período, houve um aumento considerável na taxa de natalidade nos EUA e, consequentemente, em um grande número de jovens na década de 1960. No contexto da ciência e da tecnologia, as corridas espacial e armamentista contra a URSS causaram um aumento vertiginoso dos investimentos em ciência e EC por parte dos EUA, acarretando na formação de um número muito grande de jovens doutores em física. Contudo, já no final da década de 1960, com o advento da Guerra do Vietnã, esse investimento sofreu uma queda abrupta, o que gerou um aumento na taxa de desemprego e fez com que a maioria dos recém-doutores em física ficasse desempregada. Paralelamente a isso, nos anos 1960 e 1970, surgia o contexto da contracultura hippie, um período marcado por grandes mudanças culturais e agitação política – como o rock ‘n roll, drogas, liberação sexual, preocupação com o meio ambiente, movimento feminista, os protestos contra a Guerra do Vietnã – no qual os jovens se posicionariam contra os valores da sociedade norte-americana da época. Esse contexto contracultural, aliado ao aumento do desemprego, possibilitou com que físicos formados em instituições acadêmicas de elite não seguissem carreiras acadêmicas convencionais e perseguissem seus interesses de pesquisa, buscando fontes de fomento alternativas e se organizassem em instituições acadêmicas não convencionais, como no Instituto Esalen e no *Fundamental Fysiks Group*, nos quais podiam discutir os problemas de fundamentos da FQ de forma mais livre (KAISER, 2011). Ao mesmo tempo em que isso foi importante para alguns avanços na FQ, como o entendimento das consequências do Teorema de Bell, também possibilitou estudos alternativos, que buscavam vincular os fenômenos da FQ relacionados à não-localidade com a parapsicologia, à clarividência e à psicocinese, além da criação de movimentos, como o Movimento do Potencial Humano, que reuniu nomes como Fritjof Capra, Amit Goswami, Fred Allan Wolf e Gary Zukav, quem posteriormente se tornariam os precursores do fenômeno do misticismo quântico. Essas organizações não convencionais também tiveram um papel importante na gestação dos primeiros “produtos quânticos”, como os workshops, cursos e palestras promovidos por seus membros (ROCHA, 2015).

Após esse período, no entanto, pode-se dizer que os protestos e as revoluções almejadas pelos jovens dos anos 1960 e 1970 não lograram modificar o mundo como esperado, e que muitas de suas conquistas acabaram sendo revertidas pela crise econômica dos anos 1970 e pelo crescimento do neoliberalismo, nos anos 1980 e 1990. Com isso, a contracultura se transformou na *cybercultura* e os movimentos

de protesto, os ideais utópicos e o anticonsumismo, característicos da contracultura hippie, posteriormente, acabaram se rendendo ao individualismo, ao narcisismo e ao consumismo promovidos pela indústria cultural. Essas mudanças se refletiram no contexto mais específico, e fizeram com que o Movimento do Potencial Humano, das décadas de 1960 e 1970, se transformasse no Movimento da Nova Era e do Neoesoterismo, dos anos 1980 e 1990, um movimento progressivamente mais apolítico, conformista e muito mais próximo à literatura de autoajuda (ROCHA, 2015). Heelas (1996) descreve o Movimento da Nova Era como epistemologicamente individualista, no qual a sabedoria interior do indivíduo serve como fonte guia para as suas condutas e para se liberar do passado e de tradições internalizadas. Esse movimento também é caracterizado por um perenialismo, que defende que as verdades já se encontravam no coração de diferentes tradições, da xamânica ao budismo. Já a expressão “Neoesoterismo” é utilizada por Magnani (1999), para caracterizar a forte expansão e disseminação das práticas comumente agrupadas sob a denominação de “esotéricas”, incluindo uma ampla gama de produtos, atividades e serviços, e constituindo um fenômeno de caráter verdadeiramente mercadológico.

A partir do resgate desses diferentes contextos históricos, é possível notar a permanência de algumas ideias, atitudes e concepções, ao longo destes, que ganham ou perdem força, de acordo com uma predisposição social mais ampla. Algumas delas, como uma atitude neorromântica e antimaterialista diante dos fenômenos naturais e sociais, somadas a uma predisposição social favorável, possibilitaram o advento do fenômeno cultural do misticismo quântico. Contudo, ainda cabe aprofundar alguns aspectos: quais outros contextos histórico-sociais que também poderiam ter influenciado no surgimento do misticismo quântico? Após o seu surgimento, como ele se desenvolveu? Quais os períodos históricos e as condições específicas que permitiram que ele ganhasse mais força e se propagasse na cultura? A sua força e influência permanecem as mesmas até os dias atuais?

Outro aspecto importante que pode ter influenciado no advento e na consolidação dos discursos do misticismo quântico, uma vez que são fatores frequentemente mencionados por eles, são as inclinações místicas ou as influências filosóficas idealistas em alguns físicos fundadores da FQ. Um dos exemplos mais mencionados por místicos quânticos é a simpatia que Niels Bohr apresentou em alguns momentos de sua trajetória pelas filosofias orientais, o que se refletiu no brasão que desenhou para si, em 1947, ao ser condecorado com o título de cavaleiro pelo rei



da Dinamarca, que incluía o símbolo chinês do *t'ai-chi*, associado ao taoísmo, que representa o equilíbrio entre a ação dos princípios complementares de *yin* e *yang*, como uma evocação gráfica ao seu Princípio da Complementaridade (CAPRA, 1975; NOGUEIRA, 2010). Outro exemplo bastante mencionado pelos místicos quânticos é a admiração que Heisenberg tinha pela filosofia platônica e as suas críticas à filosofia materialista (WILBER, 1984). Outros casos bastante mencionados pelos místicos quânticos são: a amizade que David Bohm tinha com o filósofo e escritor indiano Jiddhu Krishnamurti e a sua defesa do conceito de totalidade na FQ (FREIRE JR, 2015), e as defesas sobre o papel de um observador consciente em uma medida por parte dos físicos John von Neumann, Fritz London, Edmond Bauer e Eugene Wigner (PESSOA JR, 2001). Por fim, um exemplo mais contemporâneo seria o do físico brasileiro Mario Schenberg, que escreveu o prefácio da edição brasileira do livro *O Tao da Física*, no qual demonstra um grande entusiasmo pela abordagem de Capra. Considerando que o Brasil é um dos países em que o fenômeno cultural do misticismo quântico ganhou mais ampla repercussão, seria interessante investigar o quanto o contexto em que Schenberg estava imerso influenciou nessa repercussão. Assim, diante dessas inclinações dos físicos mencionados, podemos nos questionar: o que ou qual o contexto que levou esses físicos a apresentarem essas inclinações e concepções? Como elas de fato influenciaram o advento do misticismo quântico? Será que as menções das posturas e influências filosóficas desses físicos por parte dos místicos quânticos é fidedigna ao seu pensamento? Qual seria a diferença entre as inclinações de físicos como Bohr, Bohm e Schenberg e a postura de físicos notadamente místicos quânticos, como Amit Goswami?

Além das influências elencadas anteriormente, um estudo que se proponha a investigar o surgimento do fenômeno cultural do misticismo quântico, a partir de uma perspectiva histórica, não pode deixar de se debruçar sobre os seus principais precursores. O primeiro deles é o físico austríaco Fritjof Capra, com a publicação de seu famoso livro *O Tao da Física*, em 1975, o qual é considerado, até os dias atuais, a obra mais vendida do gênero: já foi traduzida para 23 idiomas e possui 43 edições. Assim, Capra pode ser considerado um dos precursores do misticismo quântico, não apenas pelo conteúdo de sua obra, mas principalmente pela sua repercussão. De fato, se considera que Capra, com essa obra, criou um autêntico novo gênero literário, que passou a relacionar as questões da Física Moderna (FM) com o misticismo oriental, introduzindo o que se denominou de “paralelismo quântico”. Capra

também fez parte do movimento da contracultura hippie, nos EUA, nos anos 1970 e, diferentemente de outros físicos que escrevem sobre questões filosóficas relacionadas à física, escreve como um popularizador de ciências, voltando-se para a cultura de massas (ROCHA, 2015). Ao analisar *O Tao da Física*, é possível notar a presença de um certo orientalismo¹, que idealiza o pensamento oriental com a finalidade de criticar a sociedade ocidental, além de ficar clara a presença dos discursos da Nova Era, em que se busca contrapor um “velho” paradigma (que corresponderia à FC) a um “novo” paradigma (que corresponderia à FM), supostamente melhor e mais interessante em diversos aspectos. Ele também cita conceitos e discute questões relacionadas aos problemas de fundamentos da FQ, como a dualidade onda-partícula, o problema da medição e o conceito de potencialidade de Heisenberg, além de fazer menção às tendências místicas de alguns físicos, como Wheeler, Wigner, Bohr e Bohm, porém busca explicitar que não defende uma união entre ciência e misticismo (SAITO, 2019).

Outro autor importante no surgimento e consolidação do misticismo quântico foi o médico indiano Deepak Chopra, com a publicação de seu livro *A Cura Quântica*, de 1989. Pela publicação deste livro, em 1998, Chopra também recebeu o prêmio satírico Ig Nobel de Física (IMPROBABLE RESEARCH, 1998). Em termos de vendas dos chamados “produtos quânticos”, Chopra pode ser considerado o mais bem sucedido de todos, com mais de 60 obras publicadas e 10 milhões de cópias vendidas, somente em língua inglesa (HAMMER, 2004). Diferentemente de Capra, Chopra não possuía formação em física e, por conta disso, acaba utilizando os argumentos de Capra com um status bem estabelecido e se utilizando de uma física já popularizada, para aplicação em sua área de formação (como em questões relacionadas à saúde e ao bem estar), e utilizando argumentos de autoridade. Com isso, Chopra vai mais além do que Capra, fazendo analogias entre fenômenos da FQ e da medicina alternativa e defendendo que os primeiros explicariam os segundos. Para isso, ele faz menção aos conceitos e problemas da FQ e às inclinações místicas de alguns físicos, não menciona a existência de diferentes interpretações para a FQ e apresenta uma postura de rejeição ao intelecto e à razão, em detrimento de uma valorização do sentimento e da intuição. Assim, seu discurso também se coloca dentro do movimento da Nova Era e apresenta aspectos do orientalismo, ao contrapor o “velho” paradigma (correspondente à ciência materialista) ao “novo”



(correspondente aos saberes tradicionais de origem mística), o qual seria respaldado pela FQ (SAITO, 2019).

Por fim, outro precursor do fenômeno do misticismo quântico a ser mencionado é o físico indiano Amit Goswami, que ficou famoso por sua participação no documentário “Quem somos nós” e pelas suas aplicações da FQ à diversas questões da vida, saúde, economia e sociedade. Goswami possui grande influência no Brasil, por suas visitas regulares a este país. Devido à sua formação em física, em suas obras iniciais, Goswami une um pouco do cuidado prezado por Fritjof Capra com relação aos conceitos da FQ com a busca por extrapolar essa teoria e aplicá-la a outras áreas do conhecimento, procurada por Deepak Chopra. Em sua primeira obra vinculada ao misticismo quântico, *O Universo Autoconsciente*, de 1993, Goswami busca elaborar uma interpretação da FQ própria, baseada em uma filosofia idealista, na qual a consciência exerceria um papel central. Ele também apresenta os problemas de fundamentos da FQ em detalhe, discutindo as controvérsias envolvidas, porém ele acaba introduzindo modificações sutis em algumas interpretações da FQ. Em sua obra, também é possível observar o discurso da Nova Era, que contrapõe um “velho” paradigma (correspondente ao realismo materialista) a um “novo” (correspondente à sua filosofia idealista). Por fim, ele também se utiliza de argumentos de autoridade, faz referência às inclinações místicas de alguns físicos e à experimentos que envolvem a consciência, para respaldar seus argumentos. Em suas obras posteriores, Goswami passa a aplicar a sua filosofia idealista a diversas áreas da vida humana e a fazer uma simplificação das questões de fundamentos da FQ, omitindo os seus debates e diferentes interpretações. A partir deste ponto, também fica claro o caráter mercadológico de suas obras e produtos quânticos – como cursos, palestras e workshops, os quais não possuem preços muito acessíveis – e que a FQ passa a ter um papel secundário, surgindo apenas como um símbolo de autoridade persuasiva (SAITO, 2019).

Diante desses aspectos presentes nas obras desses autores, é possível observar que há suporte para a defesa de que os elementos históricos apresentados anteriormente – tanto dos debates de fundamentos da FQ, quanto dos contextos histórico-sociais mais amplos – podem ter influenciado no advento e na consolidação do misticismo quântico. Porém, ainda é possível aprofundar algumas questões: quais outros precursores e personagens do misticismo quântico são relevantes de serem analisados? Quais os impactos de suas obras no surgimento e no desenvolvimento

desse fenômeno cultural? Como esses personagens interagem entre si? É possível caracterizá-los dentro de uma comunidade relativamente homogênea ou há diferenças relevantes entre eles? Quais as diferenças entre o funcionamento e os discursos desses personagens e dessa comunidade em relação à comunidade da FQ?

Para uma investigação mais aprofundada a respeito dessas questões históricas contextuais mais amplas que possibilitaram o surgimento do misticismo quântico, ver Forman (1983), sobre o contexto científico na República de Weimar; Freire Jr (2015), sobre o contexto que propiciou o surgimento de novas interpretações da FQ; Kaiser (2011) e Rocha (2015), sobre as influências da contracultura hippie na FQ; Heelas (1996), Magnani (1999) e Hammer (2004) sobre o movimento da Nova Era e do Neoesoterismo; Wilber (1984) e Marin (2009) sobre as inclinações místicas de alguns físicos; Grim (1982), Costa (2013), Rocha (2015) e Pigozzo et al. (2019) sobre Fritjof Capra; Hammer (2004) e Saito e Gurgel (2017) sobre Deepak Chopra; Nogueira (2010) sobre Amit Goswami; Machado (2017) e Saito (2019) sobre uma análise das obras dos precursores do misticismo quântico; e Cruz (2011) sobre uma análise cultural mais ampla.

Perspectiva filosófica

Desde o surgimento até o desenvolvimento do fenômeno cultural do misticismo quântico, diversas questões filosóficas são suscitadas. Explorar essas questões pode contribuir para a compreensão do funcionamento e da natureza da ciência e, em particular, da FQ, dos limites que separam o conhecimento científico do não científico e dos efeitos e implicações da circulação do conhecimento científico. Sendo assim, as primeiras questões filosóficas a serem exploradas, relacionadas a esse fenômeno, são as questões referentes aos próprios debates sobre os fundamentos da FQ, como os debates sobre a causalidade e o determinismo na FQ, sobre a completude, o realismo e a não-localidade, e sobre o problema da medição e o papel da consciência, os quais também deram origem às diferentes interpretações da FQ. Todos esses aspectos também são bastante explorados e citados pelos místicos quânticos.

Os debates sobre a causalidade e o determinismo na FQ começam principalmente com as publicações, em 1926, da Interpretação probabilista de Born para a MQ e, em 1927, do Princípio da Incerteza de Heisenberg. A Interpretação probabilista considera que a função de onda determina um conjunto probabilístico, enquanto



os resultados das medidas são os eventos individuais, também fornece a chamada Regra de Born, na qual a função de onda seria regida pela equação de Schrödinger (determinista) e o seu módulo ao quadrado forneceria a probabilidade de se obter uma determinada medida. Dentro da Interpretação ondulatória, ela rege o “colapso da função de onda” (indeterminista e descontínuo), que ocorreria ao se realizar uma medição. Essa interpretação causou um sentimento de insatisfação em Einstein, que, em 1926, escreve a sua famosa carta endereçada a Born, onde ele expressa seu “sentimento interno” de que “Deus não joga dados”. O Princípio da Incerteza de Heisenberg, por sua vez, estabelece que é impossível preparar estados onde a posição e o momento são simultaneamente e arbitrariamente bem determinados. Isso rompe com o determinismo clássico, pois, uma vez que não é possível conhecer de forma exata os valores iniciais, consequentemente, não será possível por princípio estabelecer regras que prevejam os eventos futuros de forma exata (KRAGH, 1999).

Já os debates sobre a completude, o realismo e a não-localidade se iniciam em 1927, com as críticas de Einstein à interpretação estatística, na Academia Prussiana de Ciências. Após isso, no mesmo ano, no 5º Congresso de Solvay, acontecem os famosos debates entre Einstein e Bohr, nos quais Einstein demonstra a sua insatisfação com relação à Interpretação da Complementaridade. As críticas de Einstein se deviam ao caráter operacionista e positivista desta interpretação, que, a seu ver, escondia as dificuldades conceituais da FQ. Posteriormente, em 1935, Einstein publica, juntamente com os físicos Boris Podolsky e Nathan Rosen, o artigo sobre o famoso paradoxo EPR, o qual tentava mostrar que a MQ, como descrição física da realidade, era incompleta. Para isso, os autores usaram duas hipóteses: o princípio de realidade e o princípio de localidade (KRAGH, 1999). Apesar do artigo EPR não ter convencido os físicos a abandonarem a Interpretação da Complementaridade naquele momento, ele foi importante, pois identificou um conceito especificamente quântico: a não localidade. Esse esclarecimento contribuiu para que, em 1965, John Bell mostrasse que três hipóteses gerais sobre o mundo físico – a localidade, a indução e o realismo – levam a previsões experimentais que, sob determinadas condições, são inconsistentes com as previsões da MQ. Em 1982, os experimentos de Alain Aspect concluíram pela não localidade dos sistemas quânticos (FREIRE JR, 2015).

Por fim, os debates sobre o problema da medição e o papel da consciência surgem justamente da oposição entre a evolução contínua e determinista da função de estado ou função de onda – regida pela equação de Schrödinger – e a evolução

descontínua e indeterminista descrita pelo postulado da projeção de Von Neumann, normalmente chamada de “colapso da função de onda” ou “redução de estado”. Ou seja, esse problema levanta as seguintes questões: como acontece a transição de um estado que contém uma superposição de duas ou mais possibilidades para um estado que contém somente uma? Ou, como e em que estágio da medição acontece o “colapso da função de onda” ou “redução de estado”? (PESSOA JR, 1992). A resposta a essas questões e o papel atribuído ao sujeito na medição é que irão separar as interpretações de caráter mais idealista/subjetivista das interpretações de caráter mais realista (PESSOA JR, 2001).

Algumas respostas a essa questão atribuíam um papel especial para a observação na produção de mudanças em sistemas quânticos, podendo, portanto, ser consideradas mais idealistas/subjetivistas. Heisenberg, em 1927, foi talvez o primeiro a salientar o inevitável distúrbio causado pelo observador no sistema quântico observado. Um pouco mais tarde, Bohr escreveu a respeito da inevitável “interação” entre o “agente de observação” e o sistema quântico. Na interpretação ondulatória da MQ, este problema foi resolvido atribuindo-se ao ato da observação o poder de reduzir uma onda de probabilidade extensa para um pacote de onda estreito. Na Interpretação da Complementaridade, este problema é evitado com a utilização da premissa de que existe uma separação entre os mundos micro e macroscópico e que o aparelho macroscópico não é passível de descrição quântica, devendo ser descrito pela linguagem da FC (PESSOA JR, 1992). Em 1932, von Neumann formula a sua *tese do conhecimento limitado*, que, implicitamente, coloca como premissa que o que caracteriza uma “observação” é a presença de um observador inteligente ou consciente. Em 1939, London e Bauer defendem explicitamente que a consciência é que provocaria o colapso da função de onda, apesar dela não poder escolher qual seria o resultado da medição. Von Weizsäcker também apresenta uma concepção que renuncia ao *princípio de objetividade*, defendendo que a vontade do sujeito poderia afetar instantaneamente a realidade distante, com um argumento baseado em um “experimento de escolha demorada”. Em 1935, John Wheeler também explora esse tipo de experimentos e desenvolve a noção de *observador participante*, segundo a qual observador seria capaz de fazer com que o passado se atualizasse no presente. No mesmo ano, Schrödinger elabora o seu famoso *paradoxo do gato*, cujo objetivo inicial era argumentar que a MQ era incompleta, contudo, acaba por explorar também a possibilidade de estender o idealismo de algumas interpretações para



objetos macroscópicos. Em 1962, o físico Eugene Wigner elabora uma extensão desse paradoxo, que ficou conhecida como o *problema do amigo de Wigner*, o qual levaria a uma interpretação “solipsista”, em que a realidade do mundo seria diferente para cada sujeito. Outra solução radical ao problema da medição seria apresentada em 1957, por Hugh Everett, e estendida, a partir de 1971, por Bryce DeWitt, a qual ficou conhecida como *Interpretação de Muitos Mundos*. Nela, não há colapso e os observadores passam a existir em mundos paralelos com os diferentes resultados, cada vez que uma medição é realizada (PESSOA JR, 2001; FREIRE JR, 2015).

Em oposição a essas interpretações com abordagens mais idealistas ou subjetivistas, a partir dos anos 1950, começam a surgir abordagens que buscavam eliminar o observador humano da descrição quântica da natureza, as quais podem ser classificadas como “realistas” ou “objetivistas”. Dentre elas, podemos destacar a Interpretação dos Coletivos Estatísticos, que consiste em uma interpretação essencialmente corpuscular, na qual o vetor de estado descreve um coletivo estatístico de sistemas preparados identicamente, e o processo de redução da função de onda reflete a transferência do sistema objeto de um coletivo inicial para um de seus subcoletivos. Outra delas é a Interpretação causal de David Bohm, de 1952, que consiste em uma interpretação determinista, baseada em variáveis ocultas, a qual procura resolver o problema da medição através de uma modificação no formalismo da MQ. Por fim, o Programa de Amplificação Termodinâmica procura substituir o papel fundamental do sujeito humano pelo papel do aparelho de medição. Nele, a redução de estado se completa quando um registro macrofísico aparece, a partir de um processo termodinâmico irreversível de amplificação do sinal microscópico, o que faz com que o observador deixe de ser necessário nesse processo (PESSOA JR, 1992).

Considerando que existência desses debates e diferentes interpretações para a FQ é um fator bastante explorado pelo misticismo quântico, levantam-se as seguintes questões: existe alguma postura filosófica em relação à ciência que favoreceria o surgimento de interpretações místicas para a FQ? Como essas interpretações foram utilizadas pelos místicos quânticos? Será que houve distorções das mesmas? Haveria algum critério ou forma de distinguir interpretações da FQ aceitáveis cientificamente das não aceitáveis?

Com essas questões, toca-se em outro problema filosófico relevante, relacionado ao surgimento e desenvolvimento do misticismo quântico. Trata-se do problema da demarcação na ciência, que busca caracterizar o que diferencia a ciência das

outras formas de conhecimento. Em relação ao fenômeno do misticismo quântico, especificamente, essa questão tomaria a seguinte forma: uma vez que o misticismo quântico possui raízes históricas no próprio desenvolvimento da FQ, ele poderia ser considerado científico? Seriam os seus argumentos e defesas apenas mais uma forma de interpretar a FQ? Quais as diferenças entre as suas interpretações e aquelas aceitas pela comunidade da física?

Sobre essas questões, Grim (1982) argumenta que a análise do problema da demarcação na ciência para o caso do misticismo quântico é um caso que versa sobre as implicações da FQ. O autor critica o paralelismo utilizado como método de análise por autores como Fritjof Capra e Gary Zukav e a distorção que eles fazem da ciência e do misticismo oriental, e apresenta as limitações de algumas premissas adotadas por esses autores em sua abordagem de caráter idealista. Costa (2013), Machado (2017) e Lima (2017) utilizam análise discursiva de obras relacionadas ao misticismo quântico e concluem que a linguagem e a argumentação apresentadas nesses livros se afastam da linguagem aceita pelo meio científico, pois, muitas vezes, se utilizam de metáforas inadequadas, fazem apropriações indébitas da FQ e utilizam argumentos de autoridade. Oliveira (2018) analisa outras obras e entrevista dois profissionais, que utilizam o termo “quântico” em seus serviços, e conclui que a FQ apresentada nos discursos empregados nesse meio é bastante adulterada em relação ao saber científico, repleta de bricolagens². Saito e Gurgel (2017) e Saito (2019) analisam se a *cura quântica*, de Deepak Chopra, e o misticismo quântico, de forma mais ampla, podem ser considerados científicos, a partir da filosofia da ciência de Ludwik Fleck, e concluem que suas estruturas se afastam das características dos coletivos de pensamento científicos e se aproximam dos coletivos de pensamento de caráter dogmático e dos coletivos que permitem e valorizam o exercício do livre pensar. Pessoa Jr (2013) analisa o típico argumento místico quântico relacionado à chamada “lei da atração”, destrinchando cada uma das teses implícitas neste argumento, e conclui que o argumento é insustentável, por apresentar elementos incompatíveis com os resultados aceitos pela FQ. Por fim, Cruz (2011) faz uma análise cultural do misticismo quântico em diferentes momentos históricos, argumentando que atualmente seu discurso faz uso de propaganda, de argumentos que buscam uma legitimação e utiliza o conhecimento científico de forma instrumental com interesse mercadológico, por conta da pressão da indústria cultural.



Tendo em vista essas diferenças entre o conhecimento da FQ e o discurso do misticismo quântico apontadas pelos autores mencionados, abre-se margem para outra questão filosófica importante envolvendo esse fenômeno: como lidar e dialogar com as diferentes posturas dos místicos quânticos frente à ciência estabelecida? Qual seria a postura mais adequada a ser adotada por físicos, filósofos e educadores em ciências em relação ao misticismo quântico?

Em relação à essas questões, Pessoa Jr (2011) esclarece que existem duas posturas de místicos em relação à ciência: o misticismo “desafiador” da ciência e o misticismo “conciliador” com a ciência. O primeiro aceita a existência de fenômenos que contradizem o que prevê a ciência estabelecida, já o segundo aceita somente a existência de entidades e processos que não entram em contradição com a ciência. Diante dessas posturas, Pessoa Jr (2011) faz um mapeamento de algumas atitudes tomadas por cientistas e humanistas em relação ao misticismo quântico. A primeira delas se refere aos adeptos do misticismo quântico, que é constituído em sua maioria por pessoas com uma predisposição a uma visão mística de mundo e que não entendem muito bem a FQ, mas confiam nos livros de divulgação. O segundo grupo não compartilha das teses do misticismo quântico, mas o respeita. Como parte deste, estão os pós-modernistas, que negam que haja verdades únicas e questionam o direito que nossa cultura teria de impor verdades sobre outras, e os agnósticos, que consideram que existe um valor de verdade para certas afirmações, mas que evitam tomar uma posição até que as questões sejam examinadas exaustivamente pela ciência. Porém, a atitude mais comum entre os cientistas é de simplesmente ignorar o misticismo quântico, ridicularizando-o. Há também um grupo que se autodenomina “cético” e é bastante ativo em desmascarar fraudadores e pseudo-cientistas. Por fim, o autor apresenta uma atitude mais pluralista, que consistiria em admitir que existem dezenas de interpretações da FQ e que qualquer uma que não seja refutável e autocontraditória deve ser admitida como uma possibilidade, incluindo interpretações idealistas que terminam por construir uma física da alma, por exemplo. Seria uma atitude que considera que tanto essas interpretações idealistas como as interpretações realistas são baseadas em atos de fé (PESSOA JR, 2011). Apesar de talvez ser difícil chegar a um consenso sobre a atitude mais adequada a ser adotada por cientistas e educadores em ciência em relação ao misticismo quântico, dependendo da concepção educacional adotada, algumas atitudes podem ser mais interessantes do que outras.

Por fim, a última questão filosófica a ser elencada neste trabalho é a questão de uma definição ou delimitação mais precisa do que poderia ser abarcado no termo “misticismo quântico”. Pigozzo (2021) identifica que, na literatura que trata desse fenômeno cultural, há várias utilizações do termo sem um consenso preciso. Ao tratar desta questão, Grim (1982) defende que o misticismo quântico atua no âmbito das implicações da FQ e não na FQ em si. Pessoa Jr (2011) ressalta que esse fenômeno pode ser classificado como um fenômeno cultural por sua forte e ampla disseminação na mídia e em boa parte da sociedade. Porém, amplia o escopo delimitado por Grim (1982), incluindo não apenas implicações da FQ, mas também algumas interpretações dessa teoria, ao especificar que seriam interpretações “que se inserem na tradição do naturalismo animista (com seu idealismo transformador) ou que adotam um idealismo subjetivista, ou ainda que partem de elementos religiosos” (PESSOA JR, 2011). O autor também apresenta as principais teses aceitas por algumas correntes místico-quânticas, que incluem interpretações e aplicações da FQ que envolvem as relações entre o observador e o observado, a consciência e a comunicação humana, extensões místicas para a FQ e suas aplicações a outras áreas do conhecimento (PESSOA JR, 2011). Saito (2019) também chama a atenção para o fato de que alguns dicionários de filosofia reconhecem que o termo “misticismo” adquiriu um significado pejorativo. Pessoa Jr (2007-2011), de fato, reconhece que o termo “misticismo quântico” passou a ser adotado por críticos ao movimento e propõe uma distinção entre os termos “misticismo” e “espiritualismo”, para cunhar o termo mais amplo “espiritualismo quântico”, o qual se refere a uma classe de visões de mundo, que engloba tanto o misticismo quântico, quanto visões que defendem uma abordagem mais racional às relações entre espiritualidade e FQ, as quais consistiriam em visões mais próximas da ciência e da filosofia analítica. Dessa forma, para o autor, o termo “misticismo quântico” deve se referir apenas às visões que aceitam que haja um conhecimento intuitivo, não-racional e não-científico a respeito de dimensões espirituais ou transcendentais da realidade, e que defendem que esse conhecimento primordial tem conexões com a física quântica (PESSOA JR, 2007-2011). Outras características mencionadas a respeito da utilização deste termo destacam a sua origem histórico-social, como proveniente do movimento sociocultural denominado “Nova Era” ou “Neoesoterismo”, que ressurgiu nas décadas de 1980 a 1990, herdeiro da contracultura hippie das décadas de 1960 a 1970 (PESSOA JR, 2011). Saito (2019) também destaca que esse fenômeno surgiu da circulação



das ideias e debates na FQ, em um contexto com uma predisposição social geral e uma predisposição específica favoráveis, isto é, da circulação das ideias tanto na própria comunidade de físicos, quanto em outras comunidades na sociedade mais ampla. Por fim, Cruz (2011) destaca o papel da indústria cultural e dos interesses mercadológicos envolvidos no desenvolvimento desse fenômeno. No entanto, diante de todos esses aspectos, ainda permanecem as seguintes questões: que outras características do fenômeno cultural do misticismo quântico ajudariam a delimitar o seu uso e sua abrangência? Deveria haver um consenso maior sobre a utilização desse termo? Ou seria interessante manter uma certa maleabilidade, uma vez que o fenômeno ainda possui muitos aspectos a serem estudados?

Finalmente, com as questões elencadas nesta seção, não se pretendeu esgotar todas as possibilidades de explorar filosoficamente o fenômeno do misticismo quântico, mas elencar algumas possibilidades de partida, as quais podem ser expandidas futuramente.

Perspectiva social e educacional

A partir do panorama histórico e filosófico a respeito da gênese e do desenvolvimento do fenômeno cultural do misticismo quântico, foi possível perceber que esse fenômeno surgiu da circulação das ideias da FQ não somente na comunidade de físicos que trabalhavam com a FQ, mas também em diversas comunidades presentes na sociedade, o que permitiu com que esse fenômeno se desenvolvesse e ganhasse a repercussão atual (SAITO, 2019). Sendo assim, olhar para esse fenômeno a partir de uma perspectiva social mais ampla permitiria uma reflexão mais precisa e aprofundada a respeito dos seus impactos e efeitos negativos na sociedade. Para isso, seria importante identificar quais são as comunidades envolvidas nesse processo e compreender o seus interesses, modos de funcionamento e o contexto sociocultural no qual elas estão imersas. Em particular, para cientistas e educadores em ciências, o principal interesse nesse estudo reside nas consequências desse fenômeno para a ciência e para a EC e o papel desta última em enfrentar os seus efeitos negativos.

Por conta da sua origem histórico-social a primeira e, talvez, mais relevante comunidade envolvida no misticismo quântico consiste nos adeptos aos movimentos da Nova Era e do Neoesoterismo. Segundo Rocha (2015), esse movimento é mais apolítico, conformista e próximo à literatura de autoajuda, em relação à contracultura hippie que o antecedeu. Heelas (1996) também destaca que ele possui uma tendência de ser epistemologicamente individualista, apresenta uma forma de humanismo altamente otimista, comemorativa, utópica e espiritual, na qual a autoridade reside na experiência do eu interior ou no reino natural e bastante importância é dada para uma ética própria. Magnani (1999), por sua vez, utiliza a expressão *Neoesoterismo* para designar a forte expansão e disseminação, em âmbito mundial, das práticas comumente agrupadas sob a denominação de “esotéricas”, que incluem uma ampla gama de produtos, atividades e serviços. O autor também mostra que, em geral, o seu público é mais exigente, informado e se dedica a buscar informação e aprofundamento nos assuntos, através de diversas atividades de formação, como palestras, workshops, cursos, etc. O “ethos” do Neoesoterismo pode ser caracterizado pela presença de terapias corporais, pelo cultivo da individualidade, pela existência de uma comunidade inserida em um circuito urbano, pela centralidade da noção de “energia”, pela preocupação com a ecologia e a natureza, e pela redescoberta do “feminino” (MAGNANI, 1999).

Após os anos 1990, além das comunidades da Nova Era e do Neoesoterismo, diversas outras comunidades passaram a fazer parte da onda de misticismo quântico. Para ajudar a identificar essas comunidades, um estudo interessante é o de Moura e Santos (2017), que identificaram a presença de livros que continham as palavras “quântica” ou “quântico” em seus títulos e sinopses, nos catálogos online das quatro maiores livrarias do Brasil, os quais se enquadravam em diferentes áreas do conhecimento como: administração, ciências biológicas, direito, engenharia, filosofia, física, história, informática, psicologia, química, autoajuda, esoterismo, medicina



alternativa, literatura e religião. Nas categorias que envolvem as ciências exatas, como engenharia, física, informática e química, provavelmente, a palavra “quântica” está vinculada aos usos do meio científico. As categorias referentes à filosofia, história e literatura podem estar relacionadas à filosofia, à história da FQ e a livros de divulgação científica. As categorias de autoajuda e esoterismo possivelmente estão relacionadas às comunidades da Nova Era e do Neoesoterismo, analisadas anteriormente. Mas as demais categorias podem apontar para as demais comunidades envolvidas no fenômeno cultural do misticismo quântico.

A comunidade relacionada às categorias de medicina alternativa, ciências biológicas e psicologia possivelmente é outra das mais relevantes nesse fenômeno cultural. Essa relevância se deve a autores como o médico indiano Deepak Chopra, com seu livro *A cura quântica* (1989), e o físico indiano Amit Goswami, com seu livro *O médico quântico* (2004), que deslocam o discurso da Nova Era e o vinculam a temas como cura, saúde, alimentação, psicologia popular, etc., inaugurando as chamadas medicina e psicologia quânticas. Esses discursos e comunidades vieram acompanhados de uma poderosa engrenagem comercial, que, além de livros, inclui DVDs, CDs, filmes, seminários, palestras e workshops com grande sucesso de vendas (HAMMER, 2004; NOGUEIRA, 2010). A partir destes autores, muitos outros passaram a veicular esses discursos, o que pode ser ilustrado pelos livros: *Psicologia Quântica* (2007), de Robert Anton Wilson; e *O poder da autocura* (2021), de Wallace Lima. As obras posteriores de Chopra e Goswami também passaram a abranger outros temas que vão desde sucesso pessoal, profissional e criatividade, passando por religiosidade, alma, fenômenos parapsicológicos, reencarnação e Deus, até a economia e os conflitos sociais. Suas obras e seu sucesso de vendas inspiraram diversos outros autores, que deram sequência a esses temas, em diversas áreas do conhecimento. Na parte da religião, por exemplo, nota-se que o discurso do misticismo quântico não se restringiu a temas ligados à religiosidade no geral, mas passaram a permear os discursos de religiões específicas, conforme pode ser observado nos livros: *Ciência e fé: o reencontro pela Física Quântica* (2013), de Robson L. Rodovalho; e *O Jesus Quântico* (2019), de Marcelo Tezelli. Na área relacionada à administração

de empresas, nota-se que esse discurso também foi vinculado ao sucesso no mundo empresarial, o que pode ser observado nas seguintes obras: *Em busca da empresa quântica* (1998), de Clemente Nobrega; e *Planejamento Quântico* (2015), de Gerald Harris. Por fim, esse discurso também pode ser encontrado na área do direito, nos trabalhos: *O Direto Quântico* (1971), de Goffredo Telles Jr; e *Teoria quântica do direito* (2008), de Túlio Lima Vianna.

Assim, diante dessa ampla disseminação do discurso do misticismo quântico, em diversas áreas do conhecimento, restam diversas questões a serem compreendidas, dentre elas: quais as características desses discursos e como eles foram propagados em cada uma dessas áreas do conhecimento? Quais os significados, usos e adaptações que a FQ adquiriu em cada uma delas? Como esse fenômeno ganhou tamanha repercussão? Quais os interesses envolvidos nessa ampla disseminação da FQ? Quais os mecanismos sociais e elementos culturais que possibilitaram a sua popularização? Quais os problemas, implicações sociais e efeitos negativos que os usos e disseminação da FQ neste formato podem suscitar?

Em relação aos mecanismos sociais e elementos culturais que possibilitaram a gênese e o desenvolvimento do fenômeno do misticismo quântico, Saito (2019) destaca o papel das palavras e das pessoas como elementos que circulam entre diferentes comunidades, capazes de promover a circulação das ideias em diferentes meios e, consequentemente, causar uma alteração ou transformação em seus usos e significados. Em particular, as palavras e ideias podem circular através de diferentes elementos culturais. Além dos livros, já mencionados anteriormente, Lima (2017) dá destaque a textos de divulgação científica de revistas com alta circulação entre o público mais amplo e nota que alguns deles procuram a adesão do público através de mecanismos discursivos utilizados por livros de autoajuda. A autora aponta que isso provavelmente se deve ao interesse comercial que esse tipo de revista possui. Lima et al. (2021), por sua vez, analisam o álbum *Quanta* (1997), de Gilberto Gil, e mostram que a arte também pode ter um papel importante na propagação de imagens sobre ciência. Sendo assim, restaria identificar outros mecanismos sociais e elementos culturais relevantes nesse processo.



Outros aspectos sociais relevantes a serem analisados nesse fenômeno se referem a como a FQ é apresentada nos discursos dos místicos quânticos, os interesses envolvidos e os problemas, implicações sociais e efeitos negativos suscitados. Machado (2017) denuncia a presença de desvios e apropriações indébitas de conceitos da FQ no discurso de livros místicos quânticos, apontando que eles possuem objetivos e intencionalidades distintas do proposto pelo conhecimento científico original. Sobre os efeitos negativos na sociedade suscitados por esses desvios, o autor corrobora com Cruz (2011) ao apontar os interesses mercadológicos envolvidos nesses discursos e a utilização do conhecimento científico como uma mercadoria pela indústria cultural. Oliveira (2018) corrobora com esses autores, chamando a atenção para a existência de empresas que comercializam “produtos quânticos” – como suplementos alimentares, florais, etc. – e mostrando o exemplo de uma empresa que costuma fazer parcerias com um grupo educacional e com um sindicato de terapeutas alternativos, para a promoção de cursos e eventos. Oliveira (2018) também denuncia a existência de um curso de especialização *lato-sensu*, intitulado “Saúde Quântica”, que foi aprovado pelo Ministério da Educação brasileiro (MEC), o qual é promovido por esse grupo educacional, em parceria com a empresa de “produtos quânticos” mencionada. Rocha (2015), por sua vez, destaca o papel do Instituto Esalen, nos EUA, nos anos 1970, no surgimento desses “produtos quânticos” e relata que esse mercado consolidou-se no Brasil em 2009, quando iniciou-se a realização dos Simpósios de Saúde Quântica e Qualidade de Vida, também conhecidos como ExpoQuantum. Em 2013, essa feira reuniu cerca de 5000 pessoas e 119 expositores, que promoviam terapias alternativas usando explicações da FQ. Atualmente, essas terapias e produtos são fortemente difundidos e comercializados em diferentes partes do mundo. Dessa forma, nota-se que os principais problemas do misticismo quântico atual se referem à distorção dos conceitos da FQ e a sua utilização para fins que não se restringem à física, mas que visam justificar uma suposta confiabilidade de produtos relacionados à tratamentos de saúde, para atender demandas mercadológicas promovidas pela indústria cultural. Outro aspecto preocupante é a promoção de cursos – inclusive, de pós-graduação reconhecidos pelo MEC – com parcerias com essas empresas de “produtos quânticos”, que, por um lado, refletem a mercantilização da educação e, por outro, difundem um conhecimento distorcido a respeito da FQ e, conseqüentemente, disseminam desinformação a respeito dessa área da física.

Além desses aspectos problemáticos, Nogueira (2010) e Saito (2019) chamam a atenção para o fato de que, nos discursos do misticismo quântico atual, o termo “quântico” se transformou em um símbolo de autoridade persuasiva, que se baseia em argumentos de autoridade científica para sustentar afirmações diversas, adquirindo um caráter dogmático, no qual a FQ é vista como uma verdade inquestionável, o seu conhecimento completo é restrito a poucos indivíduos e a aceitação da sua importância requer obediência e docilidade (SAITO, 2019). Saito (2019) também mostra a presença de uma desvalorização da “ciência tradicional” nestes discursos – a qual é vinculada ao “velho paradigma” representado pela FC – e uma busca pela construção de uma “ciência alternativa”, uma nova ciência revolucionária, supostamente mais humana e subjetiva – a qual é vinculada ao “novo paradigma” da FQ – como uma herança dos discursos da Nova Era. A presença desses elementos se assemelha a alguns discursos de movimentos da era da pós-verdade, os quais têm trazido grandes prejuízos à confiabilidade na ciência por parte da sociedade. Por fim, Diem e Lewis (1992) também criticam o orientalismo – isto é, a tendência de simplificação e idealização das filosofias orientais, a fim de criticar a sociedade ocidental – presente na obra de Fritjof Capra e em diversos outros autores ocidentais, que fazem paralelos entre a FQ e as formas de pensamento orientais. Dessa forma, nota-se que outro problema destes discursos é que eles dependem de uma postura acrítica por parte dos indivíduos a quem se dirigem, que estes se contentem com argumentos de autoridade, rejeitem a ciência convencional, se interessem pela proposta de uma “ciência alternativa” e aceitem simplificações e idealizações a respeito de outras culturas e filosofias. Assim, as implicações e os problemas advindos desse fenômeno cultural não somente atingem a sociedade em geral, mas têm consequências mais graves, especialmente para a ciência e para a educação.

Diante desse contexto, o papel da EC e, em particular, do Ensino de Física, parece ser crucial nessa discussão e na busca de soluções para esses problemas. Porém, nesse ponto, a questão principal passa a ser: qual EC? O que é essencial e deve ser priorizado nesse processo? Quais as possibilidades a serem trabalhadas?

Diversos autores destacam a importância e a urgência de se trabalhar a FM e, em especial, a parte mais conceitual da FQ, no Ensino Médio (CRUZ; CRUZ, 2009; MACHADO, 2017; OLIVEIRA, 2018; MASSONI; BRITO, 2021). Contudo, outros autores destacam as dificuldades para que isso se torne uma realidade, como a ausência de discussão mais conceitual acerca das diferentes interpretações da FQ nos



cursos usuais de MQ (MONTENEGRO; PESSOA JR, 2002) e nos livros didáticos de MQ adotados nesses cursos (CRUZ; CRUZ, 2009). Também apontam que essas discussões seriam importantes para instrumentalizar os cidadãos para analisar e agir mais criticamente frente aos problemas dos discursos do misticismo quântico, incluindo as suas apropriações indébitas (CRUZ; CRUZ, 2009; MACHADO, 2017), e que estas não deveriam se restringir apenas à aquisição de competências individuais, mas que busquem um empoderamento social e uma problematização coletiva dos temas tratados (MACHADO, 2017; SAITO, 2019). Outros autores destacam a importância de se trabalhar FM na escola, não apenas em seus aspectos conceituais, mas também em seus aspectos históricos e epistemológicos mais amplos (MASSONI; BRITO, 2021), incluindo os processos de circulação do conhecimento científico (SAITO, 2019). Alguns sugerem que o fenômeno do misticismo quântico poderia ser um dos pontos de partida para a discussão de FM no Ensino Médio, além de ser um tema oportuno para discutir as diferenças entre a ciência e a pseudociência e preparar os cidadãos para avaliar as informações que recebem pelos diferentes meios (PESSOA JR, 2013; OLIVEIRA, 2018). Porém, outros alertam para tipo de abordagem a ser utilizada nestas discussões (VENEZUELA, 2008; SAITO; GURGEL, 2016; LIMA, 2017; HOERNIG, 2020).

Ao fazer esse resgate e lançar um olhar sobre os principais estudos relacionados ao tema em discussão, não se pretendeu fechar as questões apresentadas, mas, ao contrário, elencar pontos de partida e contraposições para que sejam feitas novas investigações. Dessa forma, o debate permanece em aberto: quais outras possibilidades de se discutir e buscar soluções para os problemas suscitados pelo fenômeno cultural do misticismo quântico? Quais outras formas de se promover uma EC mais crítica e humanizada?

Considerações finais

O fenômeno cultural do misticismo quântico é um fenômeno complexo e multifacetado, que toca em diversas questões que envolvem desde a natureza da ciência e as fronteiras entre o conhecimento científico e o não científico, passando por questões filosóficas e de fundamento da FQ, até as suas implicações para a ciência e para a EC. Neste trabalho, buscou-se apresentar um panorama dos principais temas relacionados a esse fenômeno, que têm sido explorados nos últimos anos, a fim de identificar possibilidades de pesquisa em aberto. Para isso, os temas foram apresentados a partir das perspectivas histórica, filosófica, social e educacional.

Conclui-se que ainda existem muitas possibilidades de análise desse fenômeno que tem intrigado físicos, filósofos, historiadores e educadores da ciência, em especial, nas áreas de história, filosofia e sociologia da ciência e na compreensão e na busca de soluções para os seus impactos na ciência e na EC. Espera-se que este trabalho tenha contribuído para fornecer um panorama geral dos problemas em aberto, que seja um ponto de partida para novas investigações e que inspire outros pesquisadores a explorarem o tema.

The Cultural Phenomenon of Quantum Mysticism: possibilities and perspectives of research

Abstract

The cultural phenomenon of quantum mysticism has been a source of many different reactions in physicists, science educators and researchers in Physics Teaching. This occurs because of the wide popularization the term “quantum” has acquired in the last decades, off-site physics. This is a complex and multi-sided phenomenon, which encompasses several issues, such as the nature of science, frontiers between scientific and non-scientific knowledge, the foundations of quantum physics and the implications to science and Scientific Education. The aim of the present work is to present an overview of the main topics related to this phenomenon, which has been investigated in the last years, and identify new possibilities of research. The topics will be presented in historical, philosophical, social and educational perspectives. It was concluded that there are still many possibilities of analysis of this phenomenon in history, philosophy and sociology of science research areas and in search of a better comprehension and of solutions for its impacts in science and Science Education. It is hoped that this work can contribute to provide a good overview and be a start point of future possible research topics and that it can inspire other researchers to explore the subject.

Keywords: Quantum physics, Mysticism, Popularization of Science, Circulation of Knowledge, Science and Culture.



Notas

- ¹ Orientalismo é um termo utilizado para se referir aos estudos acerca das civilizações orientais. Esses estudos se baseiam em uma distinção ontológica e epistemológica entre “o Oriente” e “o Ocidente”. Em 1978, Edward W. Said, em sua obra *Orientalismo: a invenção do Oriente pelo Ocidente* lança uma crítica, denunciando a visão eurocêntrica acerca dessas civilizações enraizada nesses estudos, os interesses envolvidos na imagem construída sobre “o Oriente” e, portanto, a distorção e a falta de precisão ao tratar dessas civilizações.
- ² O termo “bricolagem” se refere a ideia de uma técnica improvisada, adaptada às circunstâncias ou um conserto feito de maneira não muito ortodoxa (KASPER, 2006 apud OLIVEIRA, 2018).

Referências

- BELLER, Mara. **Quantum dialogue: the making of a revolution**. Chicago: University Of Chicago, 1999.
- CAPRA, Fritjof. **O Tao da Física: um paralelo entre a Física Moderna e o Misticismo Oriental**. São Paulo: Ed. Cultrix, 1983. Original em inglês: **The Tao of Physics: An Exploration of the Parallels Between Modern Physics and Eastern Mysticism**. Boston: Shambhala, 1975.
- COSTA, Thiago Tavares da. **A apropriação do termo “quântico”**: de que forma a física moderna e contemporânea é divulgada por outras áreas do conhecimento. Rio de Janeiro: CEFET/RJ, 2013. Dissertação (Mestrado), Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2013.
- CRUZ, Frederico Firmo de Souza. **Mecânica Quântica e a cultura em dois momentos**. In: FREIRE JR, O.; PESSOA JR, O.; BROMBERG J. L. (Org.). **Teoria Quântica: Estudos Históricos e Implicações Sociais**. Campina Grande: EDUEPB/Livraria da Física, 2011.
- CRUZ, Frederico Firmo de Souza; CRUZ, Sônia Maria de Souza. **Pode o ambiente cultural e social definir o conteúdo escolar de física: o caso da Mecânica Quântica**. **Anais do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Florianópolis, 2009.
- DIEM, Andrea Grace; LEWIS, James R. **Imagining India: The Influence of Hinduism on the New Age Movement**. In: LEWIS, James R.; MELTON, J. Gordon. (orgs.). **Perspectives on the New Age**. Albany: State University of New York Press, 1992. p. 48-58
- FORMAN, Paul. **A cultura de Weimar, a causalidade e a teoria quântica, 1918-1927: A adaptação dos físicos e matemáticos alemães a um ambiente intelectual hostil**. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência** supl. 2, p. 3-98, 1983.
- FREIRE JR., Olival. **The Quantum Dissidents: rebuilding the foundations of Quantum Mechanics (1950-1990)**. Springer Heidelberg New York Dordrecht London, 2015.
- FREIRE JR, Olival; PESSOA JR, Osvaldo; BROMBERG Joan Lisa. (Org.). **Teoria Quântica: Estudos Históricos e Implicações Sociais**. Campina Grande: EDUEPB/Livraria da Física, 2011.
- GRIM, Patrick. (Org.). **Philosophy of science and the occult**. 2.ed. Albany: Sunys, 1982.
- HAMMER, Olav. **Claiming knowledge: strategies of epistemology from theosophy to the New Age**. Leiden; Boston: Brill, 2004.
- HEELAS, Paul. **The new age movement: the celebration of the self and the sacralization of modernity**. Oxford: Blackwell, 1996.
- HOERNIG, André Felipe. **Física Quântica e História e Filosofia da ciência: conceitos, vida, crenças e religiosidade como motivadores na aprendizagem de Física**. Porto Alegre: UFRGS, 2020. Dissertação (Mestrado), Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2020.

IMPROBABLE RESEARCH. Ig Nobel Prize Winners. Disponível em: < <https://www.improbable.com/ig/winners/#ig1998> >. Acesso em: 31 set. 2021.

JAMMER, Max. **The Conceptual Development of Quantum Mechanics**. New York: McGraw-Hill, 1966.

KAISER, David. **How the hippies saved physics: science, counterculture, and the quantum revival**. New York, London: W.W. Norton & Company, 2011.

KRAGH, Helge. **Quantum generations: a history of physics in the twentieth century**. Princeton: Princeton University Press, 1999.

LIMA, Jane Hellen Gomes de. **Circulação da ciência: relações entre o discurso referente à ciência e o discurso de autoajuda**. Florianópolis: UFSC, 2017. Dissertação (Mestrado), Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

LIMA, Nathan Willig; MORAES, Andreia Guerra de; MONTEIRO, Abigail Vital de Goes. “Cântico dos cânticos, quântico dos quânticos”: as relações dialógicas entre artes, ciências contemporâneas e saúde no álbum Quanta, de Gilberto Gil. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 1, p. 187-209, jan.-mar. 2021.

MACHADO, Sandro da Silva Livramento. **Implicações culturais da teoria quântica: caminhos metafóricos e apropriações indebitas**. Florianópolis: UFSC, 2017. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

MAGNANI, José Guilherme. **Mystica urbe: um estudo antropológico sobre o circuito neo-esotérico na metrópole**. São Paulo: Studio Nobel, 1999.

MARIN, Juan Miguel. “Mysticism” in quantum mechanics: the forgotten controversy. **European Journal of Physics**, v. 30, p. 807-822, 2009.

MASSONI, Neusa Teresinha; BRITO, Alan Alves. Física Quântica e o Ensino de Física na contemporaneidade: reflexões à luz da história e da epistemologia revisada de Popper. **Experiências em Ensino de Ciências** v. 16, n. 1, p. 331-348, 2021.

MOURA, Mairus Disconzi; SANTOS, Renato P. dos. Detectando misticismo quântico em livros publicados no Brasil com Ciência de dados. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 725-744, dez. 2017.

MONTENEGRO, Roberto Luiz; PESSOA JR, Osvaldo. Interpretações da Teoria Quântica e as concepções dos alunos do curso de Física. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 2, p. 107-126, 2002.

NOGUEIRA, Pablo. **Espiritualidade quântica? Consciência, religião e ciência no pensamento de Amit Goswami**. São Paulo: PUC-SP. Dissertação (Mestrado), Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, Maria Luiza de. **Desvios de conceitos da teoria quântica pela bricolagem de não cientistas**. Campinas: Unicamp. Dissertação (Mestrado), Instituto dos Estudos da Linguagem, Universidade de Campinas, 2018.

PATY, Michel. The problem of the physical interpretation of theoretical quantities and the intelligibility of the quantum domain. **Science and cultural diversity: Proceedings of the XXIst International Congress of History of Science, Changes in Interpretation & Conceptual Contents**, 2774-2793, 2005.

PESSOA JR, Osvaldo. Análise de um típico argumento místico-quântico. In: SILVA, Cibelle Celestino; PRESTES, Maria Elice Brzezinski (orgs.). **Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas**, São Carlos, 2013.



PESSOA JR, Osvaldo. O fenômeno cultural do misticismo quântico. In: FREIRE Jr, Olival; PESSOA JR, Osvaldo; BROMBERG, Joan Lisa. (Org.). **Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais**. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011. p. 281-302.

PESSOA JR, Osvaldo. **Física Quântica: Entenda as diversas interpretações da física quântica**, 2007-2011. Disponível em: <<http://www2.uol.com.br/vyaestelar/fisicaquantica.htm>>.

PESSOA JR, Osvaldo. Introdução Histórica à Teoria Quântica, aos seus problemas de fundamento e às suas interpretações. **Caderno de Física da UEFS** 04(01 e 02), p. 89-114, 2006.

PESSOA JR, Osvaldo. **Conceitos de Física Quântica**. Volume I. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003.

PESSOA JR, Osvaldo. O sujeito na física quântica. In: OLIVEIRA, Eduardo Chagas. (Org.). **Epistemologia, lógica e filosofia da linguagem: ensaios de filosofia contemporânea**. Feira de Santana: Núcleo de Estudos Filosóficos, p. 157-196, 2001.

PESSOA JR, Osvaldo. O problema da medição em Mecânica Quântica: um exame atualizado. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência** v. 2, n. 2, p. 177-217, 1992.

PIGOZZO, Daniel. **Do Místico ao Quântico: o emaranhamento de cosmovisões no desenvolvimento da Física Moderna e Contemporânea**. Porto Alegre: UFRGS, 2021. Dissertação (Mestrado), Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021.

PIGOZZO, Daniel; LIMA, Nathan Willig; NASCIMENTO, Matheus Monteiro. A filosofia sistêmica de Fritjof Capra: um olhar ecológico para a Física e para o Ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 704-734, dez. 2019.

ROCHA, Gustavo Rodrigues. **O Profeta e o Metafísico: uma história cultural do reencantamento do mundo pela Teoria Quântica através da vida e obra de Fritjof Capra e Henry Stapp**. Salvador: UFBA/UEFS, 2015. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências. Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, 2015.

SAITO, Marcia Tiemi. **A gênese e o desenvolvimento da relação entre física quântica e misticismo e suas contribuições para o ensino de ciências**. São Paulo: USP, 2019. Tese (Doutorado), Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, 2018.

SAITO, Marcia Tiemi; GURGEL, Ivã. “Quantum healing”: Science, popular Science, pseudoscience or myth? Na analysis based on Ludwik Fleck. In: PIETROCOLA, Maurício; GURGEL, Ivã; LEITE, Cristina. (eds.), MOMETTI, Carlos (ass.). **Contemporary science education and challenges in the presente society: perspectives in physics teaching and learning**. São Paulo: FEUSP, 203-208, 2017.

SAITO, Marcia Tiemi; GURGEL, Ivã. Misticismo Quântico: resistência de professores em formação inicial em trabalhar as relações entre Ciência e Cultura em sala de aula. **Anais do XVI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Natal, 2016.

VENEZUELA, Osvaldo Dias. **Demarcando ciências e pseudociências para alunos do Ensino Médio**. São Paulo: USP, 2008. Dissertação (Mestrado), Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2008.

WILBER, Ken. **Quantum questions: mystical writings of the world's great physicists**. Boston: Shambhala Publications Inc., 1984.

Ciência e Valores: uma leitura epistemologicamente guiada de fontes primárias

Marinês Domingues Cordeiro*

Resumo

Introduzo a temática da relação entre ciência e valores, um problema lógico que tem origem no problema da indução e na crítica ao positivismo lógico, com o escrutínio do conceito de subdeterminação. O objetivo geral é apresentar duas teses filosóficas com capacidade heurística bastante interessante para o Ensino de Física e de Ciências, em geral, sobretudo àqueles que, trabalhando com história da ciência no ensino, gostariam de poder examinar os potenciais filosóficos de algumas fontes primárias. O modelo triádico de justificação, desenvolvido por Larry Laudan, é um construto simultaneamente crítico ao positivismo e ao pós-positivismo. Por ser focado precisamente na justificação, tem o poder de permitir as análises de documentos como as Conferências Nobel, por exemplo. Reconhecendo a relação reticulada entre métodos, teorias e objetivos que faz um cientista ou uma comunidade, é possível olhar esses documentos e compreender o processo de racionalização ao qual eles aludem. Analiso a Conferência Nobel de Marie Curie, de modo a mostrar as inter-relações e ajustes entre métodos, teorias e objetivos anunciados pela física, em 1911, que culminaram em uma reestruturação da própria Química. Prosseguindo em relação às teses filosóficas, a ciência como conhecimento social, defendida por Helen Longino, é apresentada e, especificamente a importância dos tipos de crítica intersubjetiva, evidências e conceituais, elencados pela filósofa. Tais críticas servem de instrumento heurístico para a análise do trabalho “Sobre o elemento 93” de Ida Noddack, revelando como a subdeterminação de certas evidências pode gerar novas hipóteses, como neste caso, a da fissão nuclear.

Palavras-chave: Subdeterminação. Justificação. Radioatividade. Crítica Intersubjetiva. Fissão Nuclear.

* Doutora em Educação Científica e Tecnológica. Professora do departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina. E-mail: marines.ufsc@ufsc.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9102-7441>



Cisne negro, lógica e justificação – um prelúdio

Quando se trata de fenômenos naturais, observação e indução desempenham papel importante na maneira como erigimos nossos conhecimentos. Não à toa, no período que demarca o nascimento da ciência moderna, a noção de que bons conhecimentos são oriundos da observação controlada e do processo de indução deu origem à concepção empírico-indutivista da ciência. É fato reconhecido que esse paradigma metodológico estava fortemente atrelado a uma necessidade histórica de divórcio da filosofia escolástica e à confiança nas capacidades humanas de intervir na natureza de acordo com representações descritivas oriundas das observações.

Não obstante, as representações da natureza são justamente isso: representações. Não demorou para que a capacidade lógica do indutivismo fosse problematizada. Não é porque se viam cisnes brancos na Europa que eles só existiam nessa penugem. Esse, que é o renomado problema da indução de David Hume, revela as limitações lógicas da indução: um determinado conjunto de evidências não pode garantir, além da razoabilidade, uma afirmação de natureza generalista.

Com a paulatina sofisticação da ciência e dos objetos por ela investigados, foi ficando claro que a atitude metodológica dos cientistas vai muito além da observação e da inferência por indução. Experimentos são desenvolvidos à luz de corpos teóricos, ou ao menos, de convicções teóricas ou metateóricas. Mesmo em áreas da ciência cujos paradigmas teóricos pioneiros não tinham a consolidação da atualidade, como no caso dos estudos de eletricidade, elas envolviam o desenvolvimento de novos dispositivos, capazes de promover fenômenos que não ocorrem espontaneamente na natureza. A garrafa de Leyden e seu papel para as explorações de Benjamin Franklin é um exemplo. Assim, outro problema do mito empírico-indutivista surge, demarcado agora por Pierre Duhem: a confiabilidade das observações. Não há neutralidade nas observações, afinal de contas; o que se torna evidência é, também, um caso de interação entre objeto e sujeito. São problemas cujas tentativas de resolução passaram por questões de plausibilidade e refutabilidade. Enquanto todos os cisnes parecerem brancos, é possível afirmar que essa é provavelmente uma de suas características demarcadoras.

Willard Quine elevou essas problematizações lógicas a outro patamar, asseverando que nossas incertezas acerca do nosso conhecimento nos obrigam a avaliar e, em última instância, aceitar, múltiplas teorias explicativas para um mesmo estado de coisas. É a tese da subdeterminação: nenhum conjunto de evidências consegue

conduzir inequivocamente a uma teoria. Mesmo que pareça contornada com o apelo a questões de plausibilidade e refutabilidade, constatar que nossos conhecimentos são subdeterminados abre espaço para questionamentos ainda mais complexos: o que nos leva a fazer a mediação entre as observações e as afirmações generalistas? O que nos faz compreender algo como uma evidência para determinada hipótese? Naturalmente, são capacidades cognitivas que, elas próprias, não podem ser colocadas em teste. São juízos, que têm suas raízes em diversas estruturas mentais que evoluíram conosco.

Kuhn (2006) marcou época na filosofia ao avaliar que, nos períodos que ele chamou de revolução científica, eram necessários não apenas argumentos de convencimento, aqueles hipoteticamente arraigados na lógica e na estrutura cognitiva típica da ciência. Também a persuasão fazia parte desses momentos da história da ciência, isto é, a orientação à concordância, por variados motivos, de variadas naturezas. Para defender-se dos críticos, que viam na sua visão de ciência o fim da racionalidade, Kuhn (2009) trabalhou justamente esses juízos, tentando mostrar que eles não são, necessariamente, emblemáticos de irracionalidade.

Para ele, a visão positivista de que um dissenso acerca da escolha teórica deveria ser finalizado com a avaliação de determinadas regras para o conhecimento precisava ser revista, já que tais regras subdeterminam as escolhas teóricas. Ele elencou cinco dessas regras: precisão, coerência, alcance, fertilidade e simplicidade. Sua defesa é a de que elas agem como valores, porque dependem do significado dado a cada um pelos cientistas, ou seja, precisam ser ponderados, individual e coletivamente. Ademais, podem ter importâncias diferentes dentro da comunidade científica. São aspectos que, simultaneamente, envolvem objeto de conhecimento e sujeito cognitivo. Os valores da atividade científica, enfim, subdeterminam a escolha teórica. Em última instância, havendo dissenso, precisam ser ponderados. A escolha teórica, para Kuhn (2009), envolve um processo interino de discussão, negociação e adaptação ao novo conhecimento. Com isso, uma espécie de homogeneização das percepções da comunidade ocorre, mesmo que entrementes vozes dissidentes ainda subsistam.

Por mais criticado que ainda tenha sido, tanto por positivistas quanto por outros filósofos, é essencial considerar a fertilidade da sugestão de Kuhn (2009). Por um lado, ele expõe que os juízos de valor vão muito além de questões de probabilidade, embora recorra a ela, apologeticamente, ao fim daquele ensaio; por outro ele busca mostrar como juízos de valor não são necessariamente marcas de irracionalidade. Restou, para os filósofos que buscavam se afastar do relativismo, a tarefa de com-



preender como essas duas novas dimensões podem ser atreladas à objetividade e à racionalidade da ciência.

Neste trabalho, apresento algumas ideias de dois desses filósofos, Larry Laudan e Helen Longino. Em Laudan (1984), há um movimento de compreender a justificação de um conhecimento científico e, nesse sentido, uma nova visão de racionalidade da ciência. No caminho, notou que os sentidos evidência-hipótese e valores-teorias não são os únicos subdeterminados; mobilizando três dimensões científicas – teorias, métodos e objetivos da ciência – ele vê que os cientistas julgam não apenas as qualidades das evidências, mas também as dos métodos e dos objetivos. A justificação de uma escolha teórica é, enfim, uma rede de negociações entre todas essas dimensões e assim como Kuhn, defende que os objetivos da ciência não são juízes supremos, em última instância, das melhores teorias e métodos. Eles próprios não estão imunes a escrutínio e ressignificação; a visão de Laudan, no entanto, é de que esses deslocamentos são geralmente justificados por métodos e evidências.

Em Longino (1990), vemos a reinterpretação da ideia de objetividade, que depende não apenas dos âmbitos de escolha teórica, mas de todos os outros na ciência – escolha de dados, associação de suposições gerais e específicas, tratamento de evidências, etc. São todas partes da ciência abertas a juízos de valor; apenas a crítica intersubjetiva pode ter a capacidade de revelar esses valores, que podem ser tradicionalmente cognitivos, mas também contextuais. Ao examinar a maneira como valores se tornam constitutivos da ciência (sejam eles contextuais ou tradicionalmente cognitivos) e como a crítica intersubjetiva pode, amiúde, conferir graus de objetividade à prática científica, Longino (1990) enxerga a dimensão lógica da ciência como potencial legado de sua característica social.

Escolhi esses dois referenciais, porque o objetivo deste trabalho não é apenas o de apresentar novas visões filosóficas das questões relativas a ciência e valores. Da maneira como justificaram suas teses, eles trazem mecanismos com forte capacidade heurística para a interpretação de documentos científicos. As articulações entre as asserções de natureza teórica, metodológica e axiológica, presentes na visão de Laudan (1984), podem elucidar a leitura de alguns documentos com forte base na justificação, como as Conferências Nobel. Como exemplo, analiso a proferida por Marie Curie, em 1911 (CURIE, 1966), em que a física delinea os intrincados caminhos trilhados para justificar o rádio como elemento químico bem definido – e, por consequência, todas as outras substâncias radioativas imponderáveis.

Defendo que o ponto de vista de Longino (1990), de que a ciência é uma atividade social de permanente crítica, pode ser particularmente profícuo para a leitura guiada de artigos científicos, em particular aqueles que contêm avaliação e crítica de hipóteses antecessoras. Com apoio na distinção entre críticas evidenciais e críticas conceituais, perscruto o exemplo do artigo de Ida Noddack (1934) - *Sobre o elemento 93* – que, diante da hipótese da produção de elementos transurânicos por Enrico Fermi (1934), mostra as lacunas evidenciais da pesquisa do italiano e constrói, na forma de hipótese conceitualmente possível, a quebra dos núcleos, cinco anos antes do que socialmente se entende ter sido a descoberta da fissão nuclear (HAHN; STRASSMANN, 1939; MEITNER; FRISCH, 1939).

Filosofia e história não podem trabalhar dissociadas; essa máxima atribuída a Imre Lakatos tem importância especial para a educação científica. Nem sempre, fontes primárias são elusivas ao educador. Com o auxílio da filosofia da ciência, há certos documentos científicos capazes de serem didatizados, caso seja objetivo do educador o endereçamento de questões acerca das capacidades da ciência, sua racionalidade e objetividade. Em tempos em que o negacionismo suprime o salutar ceticismo, espero conseguir mostrar que a discussão sobre como são sólidas, mesmo diante da subdeterminação, as capacidades da ciência de se justificar a partir da crítica pode ter um espaço em sala de aula.

Justificar

Então temos o caso da subdeterminação, que pode parecer, inicialmente, um caminho inexorável à irracionalidade, ou ao menos ao relativismo. Kuhn (2009) tentou trabalhar o conceito dentro da perspectiva da escolha teórica, quando o cientista deve fazer juízos de valor (cognitivo) e, em última instância, negociar tais escolhas em comunidade. Contudo, sua defesa da gênese do dissenso, pujante em *A Estrutura das Revoluções Científicas* (KUHN, 2006), parece ser muito mais robusta do que a maneira como ele vislumbra a restauração do consenso pela comunidade científica. E, como afirma Laudan (1984), em comparação com outras áreas do conhecimento como a sociologia e a filosofia, o consenso talvez seja uma das características mais exuberantes das ciências ditas duras.

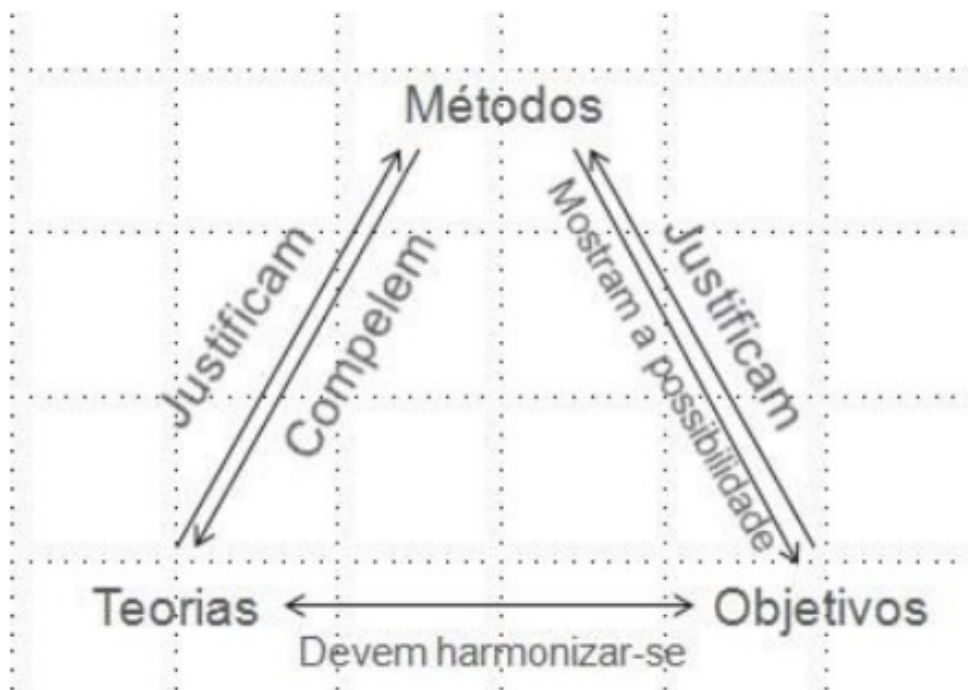
Para entender o processo de consensualização na ciência, ele volta-se aos positivistas, que trabalharam, de fato, no paradigma do consenso, da lógica e da justi-



ficação. Muitos deles defendiam uma espécie de modelo hierárquico de justificação: havendo dissenso sobre hipóteses, cientistas buscam a justificação na metodologia; havendo dissenso em questões metodológicas, buscam a resposta nos objetivos da ciência. Naturalmente, como já falei, não há garantias de que os próprios objetivos da ciência não sejam subdeterminados, argumento de Kuhn (2009) e Laudan (1984), e fato que espero elucidar com a análise da Conferência Nobel de Marie Curie (1911, 1966). Laudan (1984) não deixa escapar esse fato, mas se pergunta: com efeito, a subdeterminação, em todos os âmbitos, é determinante de um relativismo científico? Sua resposta é não.

Para ele, um melhor modelo de justificação não é hierárquico, mas reticulado, ou seja, uma rede de demandas entre teorias, métodos e objetivos da ciência. Nessa relação reticulada, as negociações são mais sólidas, demandam deslocamentos cognitivos, ampliam o escopo dos entendimentos acerca de fenômenos e conceitos, ensejam novas fenomenotécnicas. A figura abaixo é emblemática da compreensão de Laudan (1984) sobre a justificação de um conhecimento.

Figura 1: Rede triádica ou modelo triádico de justificação de Laudan (1984)



Com a estrutura de uma rede, pode-se notar que, apesar de haver disputas entre variados níveis, eles são mobilizados perenemente. É isso que pode explicar, entre outras coisas, a falácia de que, havendo consenso fatural, não há divergências na ciência. O consenso é, para ele, saudavelmente constituído de dissensos; isso pode explicar como os cientistas podem concordar teoricamente, mesmo tendo diferenças axiológicas entre si. “[O] modelo reticulado insiste que, em relação a quais teorias são sólidas, nossos julgamentos podem ser avaliados com referências às nossas axiologias explícitas, de modo a revelar tensões entre nossas estruturas de valores implícitas e explícitas” (LAUDAN, 1984, p. 62). E ele segue, tentando defender uma nova concepção de racionalidade:

Mas, além de exigir que nossos objetivos cognitivos devam refletir nossas melhores crenças do que é ou não possível, que nossos métodos devam ter uma relação apropriada com nossos objetivos, que nossos valores implícitos e explícitos devam ser sincronizados, há pouco mais que a teoria da racionalidade possa demandar (LAUDAN, 1984, p. 64).

É natural que vejamos, em Laudan (1984) uma rigidez da concepção da ciência, por duas razões: em primeiro lugar, por buscar nos positivistas um panorama sobre o qual trabalhou e reformou; em segundo, porque sua visão demanda afastamento, ou uma espécie de retrospectiva. Analisando as interações localizadas, na instância exemplar dos microcosmos das controvérsias científicas, não fica claro como tais domínios se relacionam à maneira do filósofo. Contudo, é pertinente notar que seu modelo é de justificação – ou, de certa forma, uma visão ampla e historicamente situada da ciência. Não é um bom instrumento heurístico para avaliar as interações entre cientistas desde uma perspectiva hiperfocada, mas uma maneira de olhar o episódio quando o consenso é atingido, para entender como ele sequer foi atingido. Para este fim, há documentos científicos com uma perspectiva ampla, uma reconstrução racional dos acontecimentos, documentos de máxima justificação, enfim. Conferências ministradas por cientistas depois da consolidação das teorias que propuseram têm geralmente tais características.

As Conferências Nobel são grandes exemplos desse tipo de documento. Para a educação científica, elas são fontes históricas primárias singulares. Por serem ministradas ao público leigo, têm uma linguagem mais acessível e menos científica. Também fornecem a perspectiva única do cientista protagonista, que tem o hábito de citar os colegas com quem trabalhou e que ampliaram as investigações, e demonstra sua compreensão acerca da epistemologia e da ontologia daqueles fenômenos.



Ademais, são de fácil acesso, já que estão no portal do Prêmio Nobel¹, em inglês; podem ser encontradas com a simples redação do nome do cientista laureado no mecanismo de busca da página.

Justificando os novos elementos radioativos

É fato amplamente conhecido que Marie Curie, além de ser uma das poucas mulheres nobelistas, foi a única laureada, entre homens e mulheres, em duas ciências. No que pode, a olhos incautos², aparentar uma ação vanguardista do Comitê Nobel – afinal, em 1903, apenas o terceiro ano das premiações, as universidades europeias mal se abriam às mulheres, e os cursos científicos eram especialmente inóspitos àquelas que se propunham ao desafio – Curie dividiu uma das metades do prêmio da física com seu marido, Pierre. Na ocasião, a láurea ao casal deveu-se à descoberta da propriedade atômica da radiatividade; oito anos mais tarde, a física voltaria a ganhar, desta feita na química e sem compartilhamento, pelo que comumente se atribui à descoberta dos elementos rádio e polônio.

Entre 1903 e 1911, muitas coisas aconteceram nas vidas pessoal e profissional de Marie Curie, assim como no desenvolvimento da própria ciência da radioatividade. O rádio, que ela e seu marido alegaram ter descoberto já em 1898, estava apenas disponível na forma de sal enriquecido, e não isolado, como os cânones da química na época demandavam. Contudo, a comunidade de radiocientistas³ na primeira década do século 20 não parecia se opor à ideia de que o rádio e o polônio eram elementos químicos. A concepção da radioatividade como fenômeno atômico provia sólidas evidências desse novo e quase imponderável elemento; ademais, era muito fértil e permitiu o desenvolvimento de novos horizontes conceituais e uma progressiva evolução na própria concepção de matéria.

Com o discernimento das radiações em alfa, beta e gama, seguido da identificação da partícula alfa com o hélio duplamente ionizado⁴, feita por Rutherford, a radioatividade passou a ser compreendida como um decaimento, uma transmutação de elementos. Revelava-se, portanto, que urânio e tório, ao emitir tais partículas, se transformavam em outros elementos, em sucessivas emissões. Várias séries de decaimento foram diferenciadas, geralmente terminando na formação do chumbo. O uso do espectro e da ionização, frutos de metodologia óptica e elétrica, tornou-se fundamental, dado que, em tais séries, certos elementos tinham meias-vidas muito

curtas e encontravam-se em condições imponderáveis para a medição precisa de suas massas atômicas, algo essencial para a química dos elementos ponderáveis.

Em razão de o chumbo ser o produto final mais básico das séries radioativas naturais e de a partícula alfa ser identificada com o hélio, esses dois elementos químicos sempre eram encontrados em quantidades ponderáveis nas amostras minerais estudadas, diferentemente do rádio e do polônio, por exemplo. Assim, em 1906, ano em que faleceu Pierre, uma objeção à existência do rádio foi levantada por Lorde Kelvin, que sugeriu que o elemento era de fato uma composição de chumbo e hélio (MCGRAYNE, 1995). Embora não fique explícita na Conferência Nobel proferida por Marie, tal sugestão parece ter promovido um redirecionamento das ações de pesquisa da física, como uma análise baseada na rede de relações entre evidências, métodos e valores de sua aula pode indicar.

Intitulada “Rádio e os novos conceitos em Química”⁵, a Conferência é uma narrativa histórica do desenvolvimento da radiatividade e, como o título não deixa escapar, da relação entre a descoberta do rádio e da construção de uma nova maneira de se fazer química. Bastante didática, ela tacitamente enfatiza seu objetivo ao asseverar: “[n]este campo, a importância do rádio do ponto de vista das teorias gerais foi decisiva. A história da descoberta e do isolamento dessa substância forneceu provas da minha hipótese de que a radioatividade é uma propriedade atômica da matéria e pode prover meios de busca por novos elementos” (CURIE, 1911; 1966, in CORDEIRO; PEDUZZI, 2010, p. 486).

Uma asserção de clara natureza **fatual**, “[u]ma primeira prova de que o rádio existia” (ibid., p. 489), inicia o processo de justificação **metodológica** do rádio como novo elemento, quando Curie enfatiza que a análise espectral de um cloreto exibia uma nova linha, que ficava mais forte, conforme era enriquecido por cristalização, associada ao desaparecimento de linhas características do bário. Ela continua solidificando as justificativas metodológicas apontando desenvolvimentos posteriores para a determinação da massa atômica daquele metal, que aumentava segundo o enriquecimento, apontando inclusive as medidas da massa atômica que se configuravam como evidência. Ela segue defendendo a coerência de se compreender o rádio como um metal alcalino-terroso com a estrutura da Tabela Periódica, a partir de suas similaridades com o bário e apresentando suas características elétricas e ópticas. Culmina, depois disso, lembrando que ela e Debiérne isolaram o rádio no estado metálico em 1910 – minuciando os métodos desenvolvidos por eles para tal objetivo.



Nestes cinco parágrafos de sua Conferência, características típicas da concepção kuhniana de agregação de valores cognitivos a um determinado conhecimento ficam bastante claras. Coerência, precisão e alcance são características atribuídas por Curie aos resultados da pesquisa sobre o rádio. Mas sua Conferência quer ir mais longe: quer mostrar a fertilidade da concepção do elemento rádio, muito antes de seu isolamento, para alterar os objetivos e a maneira de se fazer química, especificamente a química dos elementos imponderáveis – o que explicaria os empecilhos com o polônio, ainda mais difícil de enriquecer que o rádio. Ela usa esse aspecto de natureza **axiológica** para construir seu argumento a partir de mais uma asserção de natureza **fatual**.

As propriedades radioativas do metal são exatamente aquelas que podem ser previstas, assumindo-se que a radioatividade dos sais é uma propriedade atômica do rádio, cujo estado de combinação não afeta. Era de real importância corroborar esse ponto, conforme dúvidas eram levantadas por aqueles que não aceitavam a hipótese atômica da radioatividade (ibid., p. 490).

Um mineral rico em polônio, ela explica, contém quantidades baixíssimas desse elemento. Se conseguir isolá-lo era uma tarefa quase impossível, a experiência desenvolvida para o rádio efetivamente indicou as asserções **metodológicas** para determinar a identidade do polônio e outros elementos radioativos imponderáveis – essa, por sua vez, uma afirmação do domínio **teórico**. O caminho, no entanto, não deixou de passar pela tentativa de isolar o polônio: “consegui produtos com atividades muito altas sem, no entanto, chegar a resultados definitivos, como no caso do rádio” (ibid., p. 490). A curta meia-vida do polônio era a principal dificuldade. A análise espectral foi decisiva nesse ínterim e mostrava grande sintonia com as expectativas **axiológicas** e **teóricas**. “De acordo com a hipótese atômica da radioatividade, o espectro do polônio deveria desaparecer ao mesmo tempo em que sua atividade, e esse fato pode ser confirmado experimentalmente” (ibid., p. 491). Aqui, observa-se uma ênfase na rede de interações entre valores (precisão), métodos (óptico e elétrico) e evidências (o polônio como elemento químico).

Importa ressaltar, então, que não apenas os Curie trabalhavam com radioatividade, mas também vários outros grupos de pesquisadores pelo mundo, entre eles Rutherford e Soddy. Buscando compreender o que acontecia naquelas emissões de energia, chegaram à conclusão de que ocorria ali uma desintegração atômica, isto é, que a emissão de radiação alfa e beta envolvia a transformação de elementos

em outros. Não apenas a teoria de Rutherford e Soddy é enunciada por Curie, mas também as evidências que a suportam:

não se pode contestar que o elemento químico perfeitamente definido rádio permite a formação de outro elemento químico bem definido - o hélio [...] Devo frisar aqui que a arrojada interpretação da relação existente entre rádio e hélio se apoia inteiramente na certeza de que o rádio tem todas as características de um elemento químico, como têm todos os outros elementos conhecidos (ibid., p. 492).

Com base na experiência com ponderáveis, começou-se a traçar as famílias de decaimento; o rádio sendo um produto do urânio, o chumbo sendo o elemento final mais usual dos decaimentos e o polônio, um imponderável, mas reconhecido por uma linha espectral característica, como um produto intermediário entre o rádio e o chumbo. A ênfase nesta linha de narrativa é demonstrar que a combinação de **métodos** tradicionais da química com aqueles oriundos da novíssima ciência da radioatividade consolidavam a existência do polônio. E, como se não fosse o bastante, com quantidades enriquecidas de polônio – uma asserção **conceitual** – Curie e Debierne foram bem-sucedidos em desenvolver um **método** para determinar o número de Avogadro, uma constante canônica da química.

Olhar um documento como a Conferência de Marie Curie com os olhos voltados às três dimensões da ciência esclarece pujantemente as dificuldades envolvidas em justificar um conhecimento e a riqueza das inter-relações entre novas teorias e o cânone. Ademais, propicia compreender que não existe um único sentido de justificação, como propunham os positivistas, assim como é possível compreender o tipo de racionalidade que rege as ações dos cientistas, mesmo diante da subdeterminação. Fica claro, como apontou Laudan (1984), que valores, métodos e evidências interagem como uma rede e que o tecer histórico dessa rede demanda novos olhares, coletividade, crítica, criatividade. Não raro, inclusive, esse árduo caminho leva a alterações dos próprios objetivos maiores da ciência, uma reformulação de como ela se vê e se determina, como vê e determina seus objetos, não apenas uma adaptação, mas uma mudança maior na dimensão axiológica.

É a esse ponto que Curie quer chegar, quando ao fim de sua aula, reiterando as associações entre metodologias clássicas e atuais, novas teorias e concepções canônicas, redimensionamento de valores cognitivos como precisão, coerência, alcance e fertilidade, ela explica que o sucesso do rádio permitiu a identificação (não apenas no sentido de descoberta, mas sobretudo no sentido de aceitação, de consensualiza-



ção) de variados outros elementos, entre eles o polônio, que não poderiam ser assim compreendidos se não fosse a grande reformulação pela qual a química passava, mediada pelo fenômeno da radioatividade.

Também estamos acostumados, atualmente, a lidar em laboratório com substâncias cujas presenças apenas nos são mostradas por suas propriedades radioativas, mas que, mesmo assim, podemos determinar, dissolver, reprecipitar de suas soluções e depositar eletroliticamente. Isso significa que nós temos aqui um tipo completamente distinto de química, para a qual a ferramenta mais utilizada é o eletrômetro e não a balança, e que podemos chamar de química de imponderável (ibid., p. 494).

Criticar

Não sem razão, Laudan (1984) batiza seu modelo de rede triádica da justificação; seu objetivo, afinal, é sustentar uma nova perspectiva de racionalidade científica, uma que seja capaz de explicar o alcance do consenso na ciência, mesmo que haja dissensos entre cientistas dentro das três dimensões da ciência. Neste sentido, as Conferências Nobel em geral são documentos que podem perfeitamente bem ser analisadas a partir da perspectiva da rede triádica. A qualidade justificativa delas é vigorosa, por serem a reconstituição histórica de uma hipótese ou teoria que ganhou a maior das láureas da ciência.

Também é fundamentado, neste sentido, que a visão de Laudan (1984, p. 65) seja impregnada de valores cognitivos, aqueles típicos da ciência – justamente porque seu objetivo é o de entender, mesmo que de um ponto de vista retrospectivo, as justificações acerca do progresso da ciência. “Quando nos perguntamos se a ciência progrediu, estamos tipicamente perguntando se o desenvolvimento diacrônico da ciência nos aproximou das finalidades cognitivas que julgamos merecidas e desejáveis”. Todavia, cabe questionar: que mecanismos ocorrem ao longo da ciência, nos permanentes ajustes executados pelos cientistas nas suas interpretações acerca das melhores evidências e dos melhores métodos, que permitem vislumbrar os objetivos da ciência e se eles estão de acordo com valores desejáveis? Como revelar os valores que direcionam as pesquisas, as interpretações, as escolhas de evidências? São perguntas que, entre outras coisas, demandam entender quais partes da prática científica foram afetadas não apenas por valores cognitivos, mas aqueles contextuais, que podem ter tido efeito constitutivo nas tomadas de decisões por parte dos cientistas.

Criadora de pequenos e grandes dissensos na ciência, a crítica entre os cientistas, chamada por Longino (1990) de crítica intersubjetiva, é defendida pela filósofa como a resposta para as questões supracitadas. Se é possível para Laudan lançar um olhar histórico a partir dos objetivos do presente e compreender as estruturas da rede de justificação, para Longino (1990), a perspectiva interessante é a de buscar quais críticas fomentaram a adaptação na prática científica. Sem a crítica, afinal, a rede de Laudan sequer teria espaço e o modelo hierárquico de justificação seria um bom modelo para entender a construção do conhecimento, que seria cumulativa, pouco emblemática das capacidades e curiosidades humanas e, acima de tudo, falha logicamente. Como bem afirma Longino (1990, p. 74)

De um ponto de vista lógico, se o conhecimento científico fosse entendido como a simples soma de produtos finalizados de atividades individuais, então não apenas seria impossível bloquear ou mitigar as influências de preferências subjetivas, mas o próprio conhecimento seria uma miscelânea de teorias divertidamente inconsistentes. Somente se os produtos da investigação forem compreendidos como formados pelo tipo de discussão crítica que é possível entre uma pluralidade de indivíduos acerca de um fenômeno comumente acessível, conseguimos notar como eles podem ser considerados como conhecimento, e não como opinião.

Por conveniência, Longino divisa dois tipos de críticas geralmente erigidas pelos cientistas para perscrutar uma hipótese: evidenciais e conceituais. As críticas evidenciais estão diretamente ligadas aos procedimentos de coleta e apresentação de evidências, empíricas ou teóricas, para o suporte de determinada hipótese. São as críticas que questionam a precisão e o alcance das evidências para a hipótese.

Em relação às críticas conceituais, que foram “frequentemente estigmatizadas como ‘metafísicas’”, Longino (1990, p. 72) reitera que elas recebem menos atenção na filosofia, em comparação às críticas evidenciais, que em geral mobilizam a avaliação de valores cognitivos mais tradicionais, como a adequação empírica. Nesta categoria de críticas, ela distingue três subclassificações: (i) críticas acerca da solidez conceitual de uma hipótese, algo como sua consistência; (ii) a coerência de uma hipótese com teorias aceitas, canônicas, e (iii) a crítica que questiona a relevância das evidências apresentadas para suportar uma hipótese. Esta terceira, uma espécie de contra via das críticas experimentais, é capaz de, diante da revelação da subdeterminação, mostrar que uma outra hipótese é presumível e transparecer os valores que mediarão uma interpretação teórica ou outra.



Assim, a maior parte do debate se centra não nos dados, mas nas suposições à luz das quais os dados são interpretados. Essa última forma de crítica, embora relacionada a considerações evidenciais, é agrupada às formas de crítica conceitual, porque se ocupa não como com a precisão com que os dados foram medidos e reportados, mas com as suposições à luz das quais esses dados são tomados como evidência para uma dada hipótese, em primeiro lugar. Aqui, não é o próprio material que é argumentado, mas sua relevância para a hipótese (LONGINO, 1990, p. 72-73).

Importa ressaltar, enfim, que a tese de Longino (1990), que ela chama de ciência como conhecimento social, tem na subdeterminação o fundamento para a construção da ponte para uma filosofia historicamente acurada e logicamente sólida, justamente por focar nas críticas feitas por cientistas que podem revelar os valores mobilizados nas escolhas de hipóteses. O efeito dessas críticas, sobretudo do terceiro tipo de crítica conceitual, é o de revelar subjetividades ou contextualidades que podem ter operado em uma prática científica, sugerir outras hipóteses, quando conveniente, e as expor a novas críticas. Deste modo, ela propõe uma nova perspectiva para a questão da objetividade, não uma objetividade atrelada à correspondência, a uma espécie de objetividade ontológica, mas, efetivamente, à sua dimensão metodológica.

A fissão nuclear é um fenômeno amplamente conhecido, ensinado inclusive na educação básica. Apesar de ser um tema moderno na física, uma didatização simples é suficiente para que alunos adolescentes o compreendam. Ademais, tem forte apelo contextual, em virtude de suas aplicações energéticas e bélicas. Há um documento científico, o artigo da química analítica alemã Ida Noddack (1934), cuja leitura é relativamente acessível, em que critica a interpretação de Enrico Fermi (1934) para seus estudos – o de que produzira elementos transurânicos pela primeira vez – afirmando ser igualmente plausível que, em suas investigações, tivesse levado a cabo uma quebra dos núcleos atômicos. Sua interpretação – aceita como correta na atualidade – antecipou em cinco anos a descoberta socialmente aceita da fissão nuclear. O artigo mobiliza, com impressionante clareza, as críticas evidenciais e conceituais enunciadas por Longino (1990).

Criticando os elementos transurânicos

Como mostrei, nas primeiras décadas do século 20, a descoberta do fenômeno da radioatividade promoveu uma rápida evolução nas metodologias e nos próprios objetivos da química. É fundamental destacar, ainda, que houve uma grande transformação também na física. Da teoria da desintegração atômica, foi possível detectar

trinta novos elementos de que falava Curie em sua Conferência, posteriormente identificados como isótopos de elementos conhecidos. Os estudos com partículas alfa levaram ao desenvolvimento do modelo atômico nuclear de Bohr-Rutherford e o uso do número atômico, baseado na carga positiva do núcleo, permitiu a reorganização da Tabela Periódica. Em 1919, Rutherford detectou o próton.

Nos anos de 1920, contudo, o domínio fático de tais pesquisas pareceu estagnar, apesar dos avanços metodológicos para determinações de meias-vidas, isótopos e variadas séries de decaimento. O maior problema residia na dificuldade de investigar os núcleos, já que os projéteis disponíveis, partículas alfa e prótons, eram carregados, portanto submetidos às barreiras coulombianas dos grandes átomos. Outra grande questão se impunha, acerca do limite mais alto da tabela periódica, o urânio. Com suas emissões alfa características, ele produzia elementos de menor número atômico; seria possível produzir um elemento transurânico, caso ele emitisse radiação beta. Entretanto, as experiências pareciam demonstrar que esse era um caminho implausível; ademais, nunca se havia notado, na forma natural, o elemento 93.

O panorama começa a mudar na década de 1930, com as descobertas do nêutron, do pósitron e da radioatividade induzida. Sobre este último, Irène e Frédéric Joliot-Curie conseguiram produzir o fenômeno da radioatividade, em elementos que não eram naturalmente radioativos, com o uso de partículas alfa. Uma reação exemplar deste tipo foi promovida ao bombardear o boro com partículas alfa, produzindo um radioisótopo de nitrogênio e um nêutron. Oportunamente, esse isótopo decaía em carbono, com a emissão de um pósitron. A partir dessa descoberta, a radioatividade deixava de ser um fenômeno exclusivo dos elementos pesados. De fato, uma descoberta de grande importância, que rendeu à filha e ao genro de Marie Curie o Prêmio Nobel de Química de 1935.

Enrico Fermi e sua equipe, na Itália, passaram a investigar a indução da radioatividade com nêutrons. Uma perspectiva não considerada por outros grupos, já que as fontes de nêutrons não pareciam suficientemente efetivas para um bom exame dos núcleos atômicos. Por outro lado, o *insight* metodológico de Fermi era fundamentado: mesmo em menor quantidade, os nêutrons seriam projéteis melhores, já que não se submetem a interações elétricas. Uma reação exemplar realizada por Fermi foi o bombardeamento do iodo com um nêutron lento; produzindo um radioisótopo do iodo, que emitia radiação gama e, posteriormente, decaía em xenônio, com a emissão de um elétron. Em outras palavras, Fermi conseguira produzir um elemento de maior número atômico ao induzir radioatividade no iodo com o auxílio do nêutron.



Ao executar a reação com o urânio, Fermi notou a produção de alguns isótopos já bem conhecidos, mas um desconhecido. Uma meia-vida de 13 minutos que emitia partículas beta, com comportamento bastante diferenciado. Nela, promoveram uma série de testes; descartaram sua identidade com elementos naturalmente radioativos, menos o polônio. Notaram, também, que aquela meia-vida tinha características do rênio. Àquela época, a série dos actínídeos que hoje vemos na atual tabela periódica ainda estava em discussão entre os químicos, sendo, portanto, desconhecida dos físicos. Assim, o urânio era considerado um metal de transição e se localizava abaixo do tungstênio (figura 2). Nestas condições, o novo elemento estaria na casa abaixo do rênio. As similaridades químicas entre o elemento recém-produzido e o rênio pareciam indicar, portanto, a produção do elemento 93. Cautelosamente, Fermi publica o artigo intitulado *Possível produção de elementos de número atômico acima de 92* (FERMI, 1934), na revista *Nature*.

Figura 2: Tabela periódica em 1934.

O	I																II		
-	H																He		
O	1																2		
O	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII											
He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne											
2	3	4	5	6	7	8	9	10											
Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar											
10	11	12	13	14	15	16	17	18											
O	Ia	IIa	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIII a				Ib	IIb	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb
Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ta	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	X	
36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
X	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	-	Em	
54	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
Em	-	Ra	Ac	Th	Pa	U													
86	87	88	89	90	91	92													
O	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Ce	Pr	Nd		Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Cp	Seltene					
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	Erdmetalle					

Fonte: Sime, 2000.

O trabalho recebeu algumas críticas, como é natural na ciência; a que vamos estudar aqui foi arquitetada pela química alemã Ida Noddack (1934). Publicado poucos meses depois do artigo de Fermi, seu artigo é exemplar dos tipos de crítica discernidos por Longino (1990) - inclusive aquela que pode mais claramente revelar os valores metateóricos de uma determinada investigação. Noddack é bastante objetiva nas suas críticas às investigações de Fermi; seu artigo, de três páginas, é assaz didático, como a Conferência Nobel de Curie, e pode ser facilmente lido pelos exotéricos ao círculo de pesquisas em física nuclear e química analítica, inclusive professores de física e química.

Após resumir as metodologias executadas por Fermi para produzir os nêutrons térmicos e para comparar a meia-vida aos elementos vizinhos do urânio, ela afirma, assertivamente: “[e]sse método de prova não é válido [...] não fica claro por que ele não investigou o elemento polônio (84) e por que ele decidiu parar as identificações no chumbo (82)”⁶. Explicitamente, ela começa a erigir críticas de natureza evidencial e conceitual. Faz uma crítica **evidencial** e, em consequência, aponta lacunas na **solidez conceitual**, porque nesta citação, ela aponta uma inconsistência nas escolhas metodológicas. Ela continua explicando a razão de achar inconsistente: Fermi investigava uma reação de radioatividade induzida, mas parou suas identificações no limite dos decaimentos radioativos naturais. “Fermi, portanto, deveria ter comparado seu novo radioelemento a todos os elementos conhecidos”. Ela continua, com o apoio de conhecimento evidencial, da química analítica: “vários elementos precipitarão com o dióxido de manganês se estiverem presentes como compostos, átomos ou colóides em uma solução de ácido nítrico”. Ela afirma que reproduziu o método de precipitação de Fermi e determinou química e espectroscopicamente que o precipitado poderia conter variados elementos, como o tálio e o silício em quantidade total e elementos como o bismuto e o cobalto, em quantidades parciais.

Ainda nesta citação, ela dá início a outra crítica conceitual, mais uma vez consequente de uma **crítica evidencial**, acerca da **coerência da hipótese com teorias já aceitas**. Isso porque Fermi não descartou, em sua investigação, a identidade da meia-vida de 13 minutos com o polônio. Mais uma vez, pauta sua crítica evidencial em sólidos conhecimentos evidenciais da química analítica, asseverando ter precipitado o polônio quase completamente com o dióxido de manganês. “Portanto, a prova de que o novo elemento (13 minutos) tem o número atômico 93 não é bem-sucedida



em nenhum sentido, já que o método para eliminar outras possibilidades não foi levado a cabo”.

Suas críticas agora culminam com uma **crítica da relevância das evidências para suportar a hipótese**, categoria compreendida por Longino (1990) como a mais importante, por sua capacidade de revelar os valores envolvidos na escolha de determinada hipótese.

Pode-se assumir igualmente bem que, quando os nêutrons são usados para produzir desintegrações nucleares, algumas novas reações distintamente novas ocorrem, que não foram observadas previamente com o bombardeamento nuclear com prótons ou partículas alfa. No passado, achava-se que as transmutações dos núcleos só ocorrem com a emissão de elétrons, prótons ou átomos de hélio, de forma que os elementos pesados têm apenas pequenas alterações de massa, produzindo elementos vizinhos. Quando núcleos pesados são bombardeados por nêutrons, é concebível que o núcleo se quebre em vários grandes fragmentos, que seriam, é claro, isótopos de elementos conhecidos, mas que não seriam vizinhos do elemento irradiado.

Em outras palavras, Noddack (1934) aponta que, diante das evidências, uma hipótese totalmente diferente poderia ser igualmente erigida – a de que a irradiação com nêutrons pudesse causar uma quebra dos núcleos em outros, de massa intermediária. Uma análise mais cuidadosa de seu artigo, contudo, pode levar a pensar que, de fato, essa segunda hipótese parece mais suportada pelos conhecimentos canônicos da química analítica, afinal. De todo modo, o que fica claro aqui é a identificação de Noddack da subdeterminação da hipótese de Fermi pelas evidências por ele apresentadas; revela a preferência de Fermi pelo ineditismo da descoberta dos transurânicos e uma subordinação de sua concepção de coerência com os cânones da física, mesmo que suas metodologias demandassem uma associação coerente com os cânones da química analítica.

Para efeitos de completude de argumento, Noddack (1934) ainda enfatiza que, se o urânio tivesse realmente produzido o elemento 93 por decaimento beta, possivelmente este transurânico também produziria o elemento 94, pelo mesmo processo. Quimicamente, seria de relativa simplicidade separá-los, e poderia determinar com certeza a afirmação da produção de transurânicos, em relação aos quais o próprio Fermi se demonstrava cauteloso, mas que tinha despertado grande alvoroço na mídia e na comunidade científica. Ela finaliza suas críticas aos transurânicos, então, com mais uma **crítica de natureza evidencial**.

Considerações educacionais

Neste trabalho, busquei ir além da defesa filosófica de que se fazem juízos de valor na ciência; quis pormenorizar aspectos de duas teses filosóficas que, apesar de nem sempre concordarem entre si, podem se configurar como instrumentos analíticos bastante interessantes para a leitura de certas fontes primárias. No I Encontro sobre História e Filosofia no Ensino de Física do Sul do Brasil, Ricardo Karam defendeu que não há necessidade de se ter medo das fontes primárias no ensino, posição com a qual concordo.

Um dos aspectos que a tradição didática francesa conseguiu revelar foi o de que os conhecimentos científicos sofrem muitas transformações antes de chegar em sala de aula. Quase quatro décadas se passaram desde que Chevallard (1991) ensinou primeiramente a concepção de transposição didática, mas mesmo nos mais novos livros didáticos aprovados pelo Plano Nacional do Livro Didático, e sobretudo nos livros tradicionalmente usados no ensino superior, encontram-se as marcas dos processos descontextualizadores tão bem detalhados pelo didata francês. Não é para menos: nossa concepção de que é preciso ensinar todos os conceitos e fenômenos da física em dois, ou no máximo três anos, demanda que o professor tenha um livro de apoio que dê conta de todo esse conteúdo, com um encadeamento lógico e acumulativo. Mas (e felizmente), não só de livros vive a educação científica; o professor é, ele próprio, uma verdadeira fonte de conhecimento sobre ciência e, mais importante, o agente transformador do seu conhecimento e daquele presente no livro, mediador da aprendizagem do aluno.

Com mais facilidade, vislumbro possibilidades do uso de fontes primárias tipo artigos científicos no ensino superior, apesar de ver potencialidades para algumas Conferências Nobel também para o ensino básico. Para o caso dos dois trabalhos que apresentei aqui, vejo que têm claro espaço até mesmo no ensino básico e, mais ainda, podem demandar um salutar trabalho multidisciplinar entre docentes de física e química. É interessante que o atual documento regulador mínimo dos currículos brasileiros, a BNCC – Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018), demanda que o aluno tenha contato com a Física e a Química desde os anos finais do ensino fundamental. No nono ano, aliás, a unidade temática “Matéria e Energia” prevê a exploração dos seguintes objetos de conhecimento: aspectos quantitativos das transformações químicas, estrutura da matéria, radiações e



suas aplicações na saúde. Ora, um belo espaço para fazer as discussões sugeridas aqui neste trabalho.

As Ciências da Natureza para a etapa do ensino médio preconizam que

A contextualização social, histórica e cultural da ciência e da tecnologia é fundamental para que elas sejam compreendidas como empreendimentos humanos e sociais [...] a contextualização histórica não se ocupa apenas da menção a nomes de cientistas e a datas da história da Ciência, mas de apresentar os conhecimentos científicos como construções socialmente produzidas, com seus impasses e contradições, influenciando e sendo influenciadas por condições políticas, econômicas, tecnológicas, ambientais e sociais de cada local, época e cultura [...] propõe-se, por exemplo, a comparação de distintas explicações científicas propostas em diferentes épocas e culturas e o reconhecimento dos limites explicativos das ciências, criando oportunidades para que os estudantes compreendam a dinâmica da construção do conhecimento científico [...] Os processos e práticas de investigação merecem também destaque especial nessa área. Portanto, a dimensão investigativa das Ciências da Natureza deve ser enfatizada no Ensino Médio, aproximando os estudantes dos procedimentos e instrumentos de investigação (BRASIL, 2018, p. 549, 550).

Apesar das discordâncias acerca do documento e seu papel político na educação básica brasileira (SELLES, 2018; MARTINS, 2018), ele é inescapável. Por ora, um novo paradigma educacional brasileiro se iniciou, em que impera uma visão multidisciplinar do ensino de ciências, inclusive com a produção corrente de livros didáticos. É necessário fazer o melhor que podemos diante das condições colocadas e, dentro das proposições da BNCC, compreendo que há espaço para a criatividade docente e, inclusive, para as discussões que aqui propus, justamente pelo caráter interdisciplinar entre química, física, história e filosofia da ciência que as fontes primárias analisadas desta feita podem proporcionar.

É preciso reiterar que busquei apresentar as duas filosofias da ciência como instrumento heurístico, especialmente profícuas para a análise de alguns documentos científicos com potencialidades didáticas. É certo, porém, que a perspectiva de Laudan (1984) pode ser ampliada para agregar mais condições sociais, que mostrem melhor as entradas e saídas de demandas externas à ciência na produção do conhecimento científico. Há documentos científicos com potencial didático que, seguramente, demandariam uma visão mais sociológica, sobretudo se o objetivo do educador for o de aprofundar uma contextualização mais cultural de certos episódios científicos. Porém, a capacidade analítica da tese de Laudan (1984), por mais internalista e rígida que pareça, é capaz de guiar a leitura de variadas Conferências Nobel, especificamente por seu caráter justificativo.

Outro ponto que não quero deixar escapar é de que entendo que nem todos os documentos primários são didatizáveis, mas há muitos que são. O primeiro artigo de Marie Curie (1898) é ótimo exemplo, assim como os de Geiger e Marsden (1909) sobre o espalhamento de partículas alfa, ou o de Meitner e Frisch (1939) com a explicação física da fissão nuclear. Não são autoevidentes, claro, e por isso demandam planejamento e estudo por parte do educador, o processo descrito por Chevallard (1991) como transposição didática interna. Ainda assim, são fontes de inestimáveis aspectos metodológicos da ciência, que ajudam a perfeição a necessária, mas superficial defesa de que a ciência é conhecimento estruturado e social. Neste sentido, são salutares ações como a da Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência em apresentar traduções de fontes primárias.

Como já defendi, as Conferências Nobel são, por natureza, documentos científicos que passaram, de certa forma, por uma didatização, porque são endereçadas a leigos. Vale ressaltar, contudo, que elas não devem ser tomadas como verdade histórica. Como bem afirmou Whitaker (1979), esses documentos podem envolver uma narrativa heroica ou de até de razoável deferência a outros trabalhos, já que são a história contada por um cientista em particular. Para além disso, cabe pensar nos valores envolvidos na própria escolha do nobelista, que também são impregnadas dos valores do Comitê Nobel e dos eminentes cientistas que indicam potenciais laureados para um dado ano. Essas escolhas, aliás, passam por frequentes controvérsias, como bem explora Feldman (2000). Nada disso é perfeitamente objetivo; aliás, se não se pode garantir uma objetividade tradicional e ontológica aos conhecimentos erigidos pela ciência dura, Kragh (2001) aponta que essa é, também, uma tarefa elusiva para a história da ciência.

Nesse sentido, penso ser francamente interessante a tese de Longino (1990) da ciência como conhecimento social. Para além da heurística da crítica, ela mostra como detectar os valores contextuais que atuam de forma constitutiva ou não na ciência. Serve para entender a influência da cultura, a dinâmica intersubjetiva, os panos de fundo metacientíficos e, inclusive, os valores mediadores da escolha de um nobelista. As Ciências da Natureza devem ser “compreendidas como empreendimentos humanos e sociais” (BRASIL, 2018, p. 549). Essa é uma máxima aventada pelas pesquisas em educação científica há algumas décadas. Mas como fazer isso? Vejo grandes potenciais nas ideias de Longino (1990) que, por um



lado, não busca fugir do argumento da subdeterminação mas, por outro, mostra que é justamente nas negociações que se constroem as fundamentações lógicas da ciência. Em tempos de negacionismo, muitas vezes baseados em ideias acerca da irracionalidade da ciência, é alentador conhecer e conseguir operacionalizar uma tese filosófica que indique a dimensão lógica da ciência justamente em seu caráter social e subdeterminado.

Por fim, ressalto que escolhi aqui os trabalhos de duas mulheres e essa escolha não foi sem razão. Vemos um crescimento nos movimentos feministas no século 21, com a consequente preocupação sobre o tema na educação científica. Pesquisas têm demonstrado que exemplos de mulheres cientistas na educação podem ajudar a manter as meninas interessadas pela ciência. É essencial enfatizar que as mulheres ainda são objetos de investigações científicas, muitas vezes impregnadas de valores androcêntricos. A tese de Longino (1990) tem também o poder de esclarecer esses meandros. Para um educador interessado em agregar às discussões bastante internalistas que fiz aqui, vale frisar ainda dois pontos: apenas por uma manobra burocrática, Marie Curie foi laureada em 1903 com o Prêmio Nobel da física, quando um grupo de eminentes físicos franceses bastante familiarizados com suas pesquisas indicaram apenas Henri Becquerel e Pierre Curie, com uma narrativa fantasiosa de pesquisas entre os dois (QUINN, 2011; CORDEIRO, 2013). Ainda, o artigo de Noddack, embora conhecido por todos os grupos de pesquisa em física nuclear da década de 1930, foi sumariamente ignorado. Hook (2007) defende que a prematuridade da descoberta da fissão nuclear foi um caso de “dissonância interdisciplinar” e desconsidera, também sumariamente, que o fato de que ela era mulher possa ter tido alguma influência entre os outros pesquisadores. Associando a história do patriarcado à visão de Helen Longino (CORDEIRO, 2020), temos as ferramentas para sermos céticos em relação a neutralidade de gênero em ambos os casos.

Science and Values: an epistemologically guided analysis of primary historical sources

Abstract

In this paper, the dynamic between science and values is introduced from its origins, in the logical question of underdetermination. Its general aim is to present two philosophical theses which show special heuristic abilities for the analysis of primary historical sources: Longino's science as social knowledge and Laudan's reticulated model of justification. Laudan's model is used to analyse Marie Curie's 1911 Nobel Lecture, showing the articulations between evidence, methodology and values to justify radium as a well defined element and, ultimately, a shift on Chemistry itself. Longino's science as social knowledge, especially the categories of intersubjective criticism she devises, supplies Ida Noddack's paper "On element 93" with the comprehension of how evidential and conceptual criticisms can unfold the values that mediated Fermi's hypotheses of the production of transuranium elements, as well as her premature suggestion of the nuclear fission.

Keywords: Underdetermination. Justification. Radioactivity. Intersubjective Criticism. Nuclear Fission.

Notas

- ¹ <<https://www.nobelprize.org/>> . Acesso em 1 de agosto de 2021.
- ² Marie Curie quase não foi nomeada, devido a não ter sido indicada no ano de 1903, em um episódio de claro desdém por seu trabalho, protagonizado por eminentes físicos franceses que a conheciam e que não a nomearam ao Comitê, recorrendo a uma narrativa fantasiosa. A situação foi revertida por certas manobras burocráticas. Para mais detalhes, ver Cordeiro (2013) e Quinn (2011).
- ³ Usarei o termo 'radiocientistas' para designar todos aqueles que trabalham em radioatividade, sejam químicos, físicos ou outros.
- ⁴ Hoje, entende-se a partícula alfa como o núcleo de hélio; na época, contudo, o modelo atômico nuclear de Bohr-Rutherford ainda não fora construído.
- ⁵ A Conferência Nobel de Marie Curie (1911, 1966) foi traduzida por mim, em artigo intitulado "As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino" (CORDEIRO; PEDUZZI, 2010). Neste trabalho, a paginação refere-se às páginas da referida tradução. A versão original pode ser vista no site do Prêmio Nobel, em <<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1911/marie-curie/lecture/>>. Acesso em 27 de julho de 2021.
- ⁶ As citações aqui apresentadas são traduções da tradução para o inglês do artigo de Noddack, feita por H. G. Graetzer e disponível em <<https://www.chemteam.info/Chem-History/Noddack-1934.html>>. Acesso em 31 de julho de 2021. Por isso, a paginação de todas as citações diretas não consta no corpo deste artigo.



Referências

- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular** (3ª edição revisada). Brasília, 2018.
- CHEVALLARD, Y. **La transposition didactique (Du savoir savant au savoir enseigné)**. Grénoble: Edition la Pensée Sauvage, 1991.
- CORDEIRO, M. D. Questões de gênero na ciência e na educação científica: uma discussão centrada no Prêmio Nobel de Física de 1903. In: **Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Águas de Lindoia, 2013.
- CORDEIRO, M. D. Reflexões da história do patriarcado para esses tempos de pós-verdade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, 2020.
- CORDEIRO, M. D., PEDUZZI, L. O. Q. As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, dez. 2010.
- CURIE, M. Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium. **Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Académie des Sciences de Paris**. Paris, v. 126, t. 2, p. 1101-1103, 1898.
- CURIE, M. Radium and the new concepts in chemistry (1911). In: **Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921**. Amsterdam: Elsevier, 1966.
- FELDMAN, B. **The Nobel Prize**. 1. ed. Nova York: Arcade Publishing, 2000.
- FERMI, E. Possible production of elements of atomic number higher than 92. **Nature**, v. 133, p. 898, 1934.
- GEIGER, H., MARSDEN, E. On a diffuse reflection of the alpha particles. **Proceedings of the Royal Society**. Londres, v. 82, p. 495 – 500, 1909.
- HAHN, O.; STRASSMANN, F. Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle. **Die Naturwissenschaften**, v. 27, p. 11, jan. 1939a.
- HOOK, E. B. Dissonância interdisciplinar e prematuridade: a sugestão de Ida Noddack de fissão nuclear. In: HOOK, E. B. (org.). **Prematuridade na descoberta científica: sobre resistência e negligência**. São Paulo: Perspectiva, 2007.
- KRAGH, H. **Introdução à Historiografia da Ciência**. Porto: Porto Editora, 2001.
- KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 9ª ed., 2006.
- KUHN, T. S. (1973) Objetividade, juízo de valor e escolha teórica. In: **A Tensão Essencial**. Lisboa: Edições 70, p. 363, 2009.
- LAUDAN, L. **Science and values: the aims of science and their role in scientific debate**. Berkeley, Los Angeles: University of California Press, 1984.
- LONGINO, H. **Science as a social knowledge: values and objectivity in scientific inquiry**. Princeton: Princeton University Press, 1990.
- MARTINS, A. F. P. Editorial: Sem carroça e sem bois: breves reflexões sobre o processo de elaboração de “uma” BNCC. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, 2018.

MCGRAYNE, S. B. **Mulheres que ganharam o Prêmio Nobel em Ciências**: suas vidas, lutas e notáveis descobertas. Tradução: Maiza F. Rocha e Renata Brant de Carvalho. São Paulo: Marco Zero, 1995.

MEITNER, L.; FRISCH, O. R. Desintegration of uranium by neutrons: a new type of nuclear reaction. **Nature**, v. 143, p. 239-240, fev. 1939.

NODDACK, I. Über das Element 93. **Zeitschrift für Angewandte Chemie**, v. 47, p. 653, set. 1934.

QUINN, S. **Marie Curie**: a life (kindle e-book). Plunkett Lake Press, 2011.

SELLES, S. E. Editorial: A BNCC e a Resolução CNE/CP no 2/2015 para a formação docente: a “carroça na frente dos bois”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, 2018.

SIME, R. L. The search for transuranium elements and the discovery of nuclear fission. **Physics in Perspective**, v. 2, p. 48, 2000.

WHITAKER, M. A. B. History and quasi-history in physics education – part 2. **Physics Education**, v. 14, n. 4, p. 239-242, mai. 1979.



Para que história da ciência no ensino? Algumas direções a partir de uma perspectiva sociopolítica

Cristiano B. Moura*

Resumo

A partir da consolidação do campo de História, Filosofia e Sociologia na Educação em Ciências, é possível notar a solidificação dos argumentos que se utilizam comumente para defender a utilização de abordagens históricas na Educação em Ciências. Considerando as mudanças pelas quais passou o mundo desde os primórdios do campo e o momento crítico que vivemos hoje, este ensaio teórico direciona-se a investigar outras perspectivas e argumentos podem ser construídos hoje para as abordagens históricas na Educação Científica. Para isso, inicialmente retomo os argumentos mais comuns para defender o uso de abordagens históricas na Educação Científica, analisando-os à luz de alguns avanços do campo. Apresento o emergente turno sociopolítico na Educação Científica, apreciando possibilidades de expansão dos argumentos analisados inicialmente, em diálogo com autores do turno sociopolítico da Educação Científica. Por fim, são apresentados cinco argumentos abrangentes sobre por que abordar a história da ciência na Educação Científica.

Palavras-chave: História da Ciência, Educação em Ciências, Turno Sociopolítico.

* Doutor em Ciência, Tecnologia e Educação. Docente do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática e do Ensino Médio Profissionalizante do Centro Federal de Educação Tecnológica de Celso Suckow da Fonseca- RJ (CEFET/RJ). E-mail: cristiano.moura@cefet-rj.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7136-634X>

Introdução

Em 2022 completam-se 30 anos desde a publicação do artigo “History, Philosophy, and Science Teaching: the present rapprochement” por Michael Matthews em 1992, na então recém-criada revista *Science & Education* (MATTHEWS, 1992). Este artigo foi traduzido para português e publicado em 1995 (MATTHEWS, 1995) no *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, e tornou-se referência quase obrigatória aos professores e professoras de ciências que buscam desenvolver pesquisas e intervenções didáticas em uma perspectiva histórica. Sem dúvidas, trata-se de uma brilhante síntese de todo o potencial das abordagens históricas para a educação em ciências e um argumento potente de porque não se deveria relegar a um plano acessório ou de menos importância a historicidade do conhecimento científico em seu ensino.

Hoje, seguindo os parâmetros de Fensham (2004), pode-se afirmar que existe uma subárea dentro do campo de pesquisa em Educação em Ciências que propõe a articulação da História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC)¹ no Ensino e que este é um campo bastante consolidado (MOURA, 2019a). Com a consolidação do campo, veio a solidificação dos argumentos que se empregam comumente para defender a utilização de abordagens baseadas em HFSC. Dentre esses argumentos estão a perspectiva de humanizar o conhecimento científico, combater a história de uma ciência fundamentalmente progressiva, linear e de grandes feitos, expondo os embates e controvérsias que tiveram lugar na história de produção do conhecimento científico (MATTHEWS, 1995; GIL-PÉREZ et al., 2001).

Não há dúvidas de que muitos desses argumentos continuam apropriados e bastante convincentes, por si só. Entretanto, se consideramos que o conhecimento científico é contextual, isto é, historicamente situado e em profundo diálogo com seu tempo, é mister também enxergar os próprios argumentos produzidos em nossa comunidade de Educação em Ciências de tal maneira. O mundo de cerca de 30 anos atrás é dramaticamente diferente do mundo atual. Reconhecendo isso, que outras perspectivas e argumentos podem ser construídos hoje para as abordagens históricas na Educação Científica?

Buscando explorar essa questão, proponho este ensaio, que está dividido em quatro partes. Na primeira parte, apresento alguns dos argumentos que comumente foram defendidos na literatura como razões pelas quais se deveria abordar a ciência em perspectiva histórica no ensino. Em seguida, perpasso por alguns marcadores



dos tempos atuais que considero importantes de serem pensados na exploração da pergunta que guia o ensaio e apresento brevemente alguns movimentos na pesquisa em Educação em Ciências (EC) que avançam no diálogo com o tempo de crises que vivemos. Na segunda parte, imbuído do diálogo com a contemporaneidade e com os movimentos dentro do campo da EC, exploro uma revisão de alguns dos objetivos apresentados inicialmente para as abordagens HFSC na EC e busco expandir esses objetivos. Na terceira parte, dialogo com alguns movimentos historiográficos que podem potencialmente auxiliar na tarefa de construir uma EC mais politizada e politizante (MOURA, 2019b) e, na parte final, sintetizo os argumentos.

Para que História, Filosofia e Sociologia da Ciência na Educação em Ciências? Repassando alguns argumentos históricos na área

A área de HFSC na Educação em Ciências desenvolveu-se de maneira particularmente proeminente no Brasil e na América Latina. O artigo traduzido para o português, de Matthews (1995), por exemplo, possui mais que o dobro de citações em relação ao artigo original (MATTHEWS, 1992). Longe de ser evidência única, a edição latino-americana do principal congresso de HFSC e EC, do grupo *International History, Philosophy and Science Teaching Group* (IHPST), é a versão regional com maior número de edições até o momento, superando as edições europeia e asiática. Somam-se a essas, outras evidências do particular desenvolvimento dessa área em nosso subcontinente. Muito desse desenvolvimento esteve ancorado em premissas básicas acerca das vantagens de se utilizar HFSC na EC, conforme alguns desses estudos amplamente citados na literatura.

Conforme Matthews (1995), os que advogavam pela HFSC na EC já naquela época, argumentavam em favor de uma abordagem “contextualista”, que tivesse em conta os aspectos éticos, sociais, históricos, filosóficos e tecnológicos quando do ensino das ciências. Matthews (1995) continua o argumento, afirmando que esse seria um argumento em favor do ensino, simultaneamente, *de e sobre* ciências, isso é, que incluísse a chamada Natureza da Ciência (NdC) em vez de apenas ensinar sobre os conceitos científicos. A abordagem contextualista contribuiria para a EC porque, em suas palavras:

(1) motiva e atrai os alunos; (2) humaniza a matéria; (3) promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento; (4) há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na história da ciência -a Revolução Científica, o darwinismo, etc.; (5) demonstra que a ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que (6) se opõem a ideologia científicista; e, finalmente, (7) a história permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente. (MATTHEWS, 1995, p. 172-173)

Além dos trabalhos de Michael Matthews, podemos ainda notar outros trabalhos que se tornaram muito influentes na literatura nacional, acerca dos benefícios das abordagens baseadas em HFSC na EC. Um deles é o de Roberto Martins, que em texto de 2006 (MARTINS, 2006), também amplamente citado, traz alguns argumentos em favor das abordagens históricas. Busco destacar alguns deles. Segundo Martins (2006), o estudo adequado de episódios históricos permitiria:

(1) “compreender as interrelações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não é uma coisa isolada de todas as outras mas sim faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano, sofrendo influências e influenciando por sua vez muitos aspectos da sociedade” (p. xxi-xxii); (2) “perceber o processo social (coletivo) e gradativo de construção do conhecimento, permitindo formar uma visão mais concreta e correta da real natureza da ciência, seus procedimentos e suas limitações” (p. xxii); (3) “compreender que a ciência não é o resultado da aplicação de um “método científico” que permita chegar à verdade” (p. xxiii); (4) “a formação de uma concepção adequada sobre a natureza das ciências, suas limitações, suas relações com outros domínios.” (p.xxiv); (5) “Além de [...] ajudar a transmitir uma visão mais adequada sobre a natureza da ciência, a história das ciências [poderia] auxiliar no próprio aprendizado dos conteúdos científicos” (p. xxv)

Além dessas, haveria ainda outras vantagens, exploradas tanto no trabalho de Matthews (1995) quanto no de Martins (2006). Sem dúvida, essas razões já seriam suficientes para justificar a importância de trazer a HFSC ao EC. Afinal, considerando o atual estado de coisas, com instituições científicas e públicas sendo colocadas sob suspeita e a constante disseminação de notícias falsas sobre temas de saúde pública, meio ambiente, entre outros, parece bastante razoável a necessidade de entender mais sobre como a ciência é produzida e validada. Entretanto, vários desses argumentos são passíveis de questionamento. Por exemplo, o que seria uma concepção adequada de NdC? As ciências são tão diversas entre si (IRZIK; NOLA, 2011) e mudam tanto ao longo do tempo (ALLCHIN, 2011) que cabe questionar se há, de fato, alguma estrutura que se possa aprender sobre a natureza dessas ciências. Ainda: há, de fato, qualquer valor intrínseco em se aprender sobre o darwinismo?



Quem estabeleceu esse valor? Se tal conhecimento é valorado, por razões históricas e culturais, que outros conhecimentos não são valorados da mesma forma por força de *epistemicídios* (SANTOS, 2008) cometidos ao longo da história? Estas são ponderações que serão aprofundadas em seguida. No entanto, o que queria destacar nesse primeiro momento é que, como estudos têm apontado (DOS SANTOS, 2009; MOURA et al., 2021), apenas entender como a ciência funciona desde um ponto de vista conceitual e epistemológico não tem se mostrado suficiente para que se alcance uma situação de justiça social e bem-estar coletivo².

No caso da pandemia da COVID-19, por exemplo, pudemos assistir a situações de absoluta desigualdade na disponibilidade de vacinas ao redor do mundo, bem como o profundo fosso no que diz respeito ao impacto econômico em diferentes estratos sociais. Conforme argumentam Moura et al. (2021), o desenrolar das controvérsias públicas a respeito da COVID-19 parecem mostrar que ainda que tivéssemos uma situação de literacia científica plena no Brasil, com conhecimento profundo da população sobre os aspectos epistemológicos do conhecimento científico (e não apenas seus “fatos indisputáveis”), ainda assim, talvez os traços de injustiça social que caracterizaram tão terrivelmente esse capítulo de nossa história não seriam diferentes. O que parece um exercício excessivamente especulativo, encontra lastro na realidade na medida que muitas das decisões que aprofundaram a pandemia no Brasil seguiram de posições do governo central, sem que restasse aos cidadãos muitas possibilidades de escolha sobre esse tema (MOURA et al., 2021).

Isso aponta para a necessidade de que, de alguma forma, alinhemos nossa bússola da Educação em Ciências com tais valores de justiça social e bem-estar coletivo, indo além de valores cognitivos associados à tomada de decisões. Considerando isso e ainda considerando que a literatura de Educação em Ciências vem apontando consistentemente os benefícios de se trabalhar a HFSC na EC, como poderíamos juntar tais benefícios de abordagens históricas aos objetivos e valores os quais planteamos nesse artigo? Felizmente, trazer ao centro do debate a questão da justiça social/ambiental e o bem-estar coletivo não é um movimento novo na Educação em Ciências. Conforme veremos na próxima seção, a situação de emergência (climática, social) que vivemos tem precipitado novos movimentos na Educação em Ciências que buscam superar essa realidade.

Desafios da contemporaneidade e a Educação em Ciências: mudanças em curso

Antes de voltar à Educação em Ciências, é importante explicar mais claramente a que me refiro com o termo “desafios da contemporaneidade”. Enquanto escrevo este artigo, chegam notícias sobre as enchentes, principalmente na Alemanha e Bélgica, que levaram mais de 100 pessoas a óbito. Ocupam as manchetes as afirmações de cientistas de que a aceleração do aquecimento global, de causa antrópica, aumenta a probabilidade de vivermos eventos extremos como esses. Com isso, já se iniciaram articulações entre os países ricos para que se acelere o corte de emissões de gases poluentes e para que se diminua o impacto da ação humana sobre a Terra. Longe de ser um episódio isolado, cabe notar que há 10 anos atrás, a região serrana do estado do Rio de Janeiro, onde fica a cidade de Petrópolis, em que moro hoje, foi atingida por evento extremo, de chuvas intensas, que causou a morte de mais de 900 pessoas. No ano passado, evento semelhante acometeu a cidade de Belo Horizonte, em Minas Gerais.

Seja como for, tornou-se impossível falar sobre contemporaneidade sem mencionar o tempo atual de profunda preocupação com a situação ambiental do mundo, que é crítica para os humanos; tampouco sem mencionar a situação de desigualdades que está entrelaçada com a destruição ambiental. Ademais, para além das mudanças climáticas, também vivemos um cenário de aprofundamento das desigualdades sociais³. Conforme argumento em outro artigo (MOURA, 2019b), independente de qual seja nossa postura – relevar este cenário ou tentar ativamente superá-lo – a educação em ciências produzirá algo que, ao fim, irá existir justamente em tal cenário. Assim, assumo aqui um lado, que é o de entender que é necessário nos aproximar cada vez mais de tais objetivos políticos da educação em ciências, que visam construir uma sociedade mais justa e menos desigual.

Tal posicionamento aproxima-se do que a literatura da Educação em Ciências tem chamado de Visão III de Alfabetização Científica. Conforme Sjöström e Eilks (2018), apoiando-se em Roberts (2007), a Educação em Ciências, há mais de 50 anos, vem advogando pela necessidade de alfabetizar cientificamente a população. Contudo, dentro dessa defesa, embora haja convergências, também houve características que distinguem as diferentes orientações curriculares sobre o que seria mais importante nesse processo de alfabetização científica. Roberts (2007) propôs



a distinção entre visão I e visão II de alfabetização científica: a primeira congregaria propostas em que o foco está fundamentalmente no aprendizado de conceitos e processos científicos para aplicação posterior; já a visão II estaria relacionada ao entendimento sobre a utilidade do conhecimento científico na vida e na sociedade, ao focar inicialmente no aprendizado de ciências a partir de contextos significativos aos aprendentes. A tensão entre ambas as visões estaria relacionada à disputa em relação aos objetivos (ou orientações curriculares) da educação em ciências: se voltada majoritariamente a preparar futuros cientistas (o que se harmonizaria mais profundamente com a visão I) ou se voltada a um objetivo mais democratizante (“ciência para todos”) (SJÖSTRÖM; EILKS, 2018). Partindo desse contexto, Sjöström e Eilks (2018) propõem, a partir do reconhecimento de diversos movimentos na EC que convergem (ao menos nesse ponto), a existência de uma visão III de alfabetização científica. Tal visão estaria orientada a uma alfabetização científica crítica, o que envolveria, sobretudo, a percepção de contradições existentes na sociedade e a ação para mudar tais contradições, através do engajamento efetivo em ações sociopolíticas.

Embora Sjöström e Eilks (2018) proponham a chamada visão III de alfabetização científica mais como um organizador de diversos movimentos que vêm ocorrendo no campo do que propriamente uma nova proposta para o conceito, entendo que vale a pena aqui destacar alguns desses movimentos para apontar com mais clareza tal tendência. Hodson (2010), por exemplo, baseando-se em alguns de seus próprios trabalhos anteriores, propõe vários níveis de sofisticação para os currículos de ciências, o que significaria avançar entre diferentes capacidades enquanto estudante de ciências. Passo a resumi-las a seguir:

Nível 1: Analisar o impacto social das mudanças científicas e tecnológicas e reconhecer que a ciência e a tecnologia são, em grande medida, determinadas culturalmente.

Nível 2: Reconhecer que as decisões sobre o desenvolvimento científico e tecnológico são tomadas em busca de interesses particulares e que os benefícios para alguns podem levar ao prejuízo de outros. Reconhecer que o desenvolvimento científico e tecnológico está intimamente ligado à distribuição de riqueza e poder.

Nível 3: Desenvolver suas próprias visões e estabelecer suas próprias posições de valor.

Nível 4: Ser capaz de preparar-se e de atuar em questões sociocientíficas e questões ambientais (HODSON, 2010, p. 199)

Proposição parecida de alfabetização científica crítica também foi realizada por Wildson dos Santos (2009). Baseado na filosofia de Paulo Freire, dos Santos (2009) avança com a ideia de que a Educação em Ciências deveria ir além de um objetivo de humanização com vistas a preparar cidadãos para uma sociedade profundamente baseada nos construtos científico-tecnológicos, indo em direção a uma visão clara sobre a educação em ciências como possuindo função sociopolítica. Tanto para dos Santos (2009), quanto para Hodson (2010), um componente fundamental dos currículos de ciências deve ser a preparação para ação sócio-política, ou seja, está previsto um componente de engajamento em questões sociais e políticas que envolvam a ciência. Tal sugestão deu origem às chamadas pedagogias ativistas na Educação em Ciências (BENCZE; ALSOP, 2014; MARQUES; REIS, 2016) que vêm ganhando terreno na área nos últimos anos.

Buscando refinar o próprio entendimento sobre o que seria o engajamento cívico propalado por diferentes autores na área de Educação em Ciências como um objetivo importante, Rudolph e Horibe (2016) circunscrevem tal engajamento cívico às chamadas questões de interesse público. Ou seja, o engajamento cívico envolveria influenciar questões de interesse público por meio de estruturas políticas existentes. Com isso, os autores, além de oferecerem uma definição mais precisa do que seria o engajamento cívico envolvendo temas científicos, ainda defendem uma expansão dos objetivos de aprendizagem do campo, que passariam a ir além do meramente conceitual ou mesmo epistemológico, indo em direção a um objetivo social e político (RUDOLPH; HORIBE, 2016).

Deixando de lado a adequação ou não de aderir a um idioma de Educação em Ciências que coloque como aspecto central a perspectiva de alfabetização científica – o que atrai quase que instintivamente uma linguagem do déficit, do “analfabetismo” (CORBETT, 2008) –, cabe notar como um movimento importante que as diversas instâncias da Educação em Ciências pareçam estar convergindo a respeito da necessidade de abraçar um iminente turno sociopolítico neste campo (TOLBERT; BAZZUL, 2017). Ainda, Tolbert e Bazzul (2017) entendem que o turno sócio-político é quase um desdobramento das perspectivas socioculturais para a EC, que vinham se popularizando nas décadas passadas. De fato, Lemke (2001) já propunha, ao caracterizar as perspectivas socioculturais na EC, o entendimento da ciência como cultura, como instituição social que muda de acordo com o tempo e espaço e que possui valores e crenças. Nesse sentido, questões como tipos de pessoas que eram/



são atraídas para as culturas científicas a partir dos tipos de perguntas que se faz, ou a sub-representação de certos grupos no empreendimento científico bem como as relações com forças econômicas e políticas passam a ser pensadas como parte de questões importantes a serem inspecionadas tanto nas narrativas sobre a ciência quanto nas pesquisas em EC (LEMKE, 2001).

Tudo isso aponta para mudanças profundas no cenário da Educação em Ciências, que, por sua vez, estão em sintonia com as mudanças que ocorrem no sistema Terra, aqui entendendo a nós humanos como parte desse sistema. Ao mesmo tempo que a Terra sofre mudanças em escala geológica que ameaçam a existência humana nesse sistema, também é possível notar o aprofundamento de questões sociais sensíveis, como a desigualdade social, a ascensão de governos autoritários ao redor do mundo, entre outras. Considerando essas mudanças e as próprias mutações da EC, que novas perspectivas poder-se-ia admitir para a educação em ciências em perspectiva histórica? É precisamente esta questão que buscarei explorar na próxima seção.

A Educação em Ciências vista desde um ponto de vista sociopolítico e suas implicações para abordagens históricas

Em primeiro lugar, correndo o risco de ser redundante, retorno a uma premissa importante desse ensaio: busco aqui dialogar e expandir as razões pelas quais se defende a utilização de abordagens históricas na EC a partir de uma perspectiva sociopolítica. Isso significa que, conforme Gurgel (2020), reconheço a possibilidade de orientações curriculares plurais; portanto, não me ocuparei especificamente de orientações como o ensino conceitual a partir de abordagens HFSC, por exemplo. Dito isso, retornarei agora aos objetivos enunciados na primeira seção sobre as vantagens de trabalhar as ciências a partir de uma abordagem HFSC, primeiro analisando tais proposições à luz de literatura recente na área de HFSC no Ensino, e, em seguida, tomando referenciais do chamado turno sócio-político, particularmente Hodson (2010), para potencialmente expandir tais vantagens.

Analisando, em primeiro lugar, algumas motivações específicas exploradas por Matthews (1995) e Martins (2006), entendo que algumas delas podem ser revisi-tadas à luz das novas pesquisas sobre NdC na Educação em Ciências, de modo a complexifica-las. Se é correto afirmar que a ciência faz parte de um “processo social (coletivo) e gradativo de construção do conhecimento”, é importante entender que

a “real natureza da ciência” é algo que ainda permanece razoavelmente opaco aos filósofos, sociólogos e outros estudiosos que se ocupam de entender a ciência. A tensão entre permanência e mudança na ciência é, de fato, algo que complica todo e qualquer esforço de fixar uma imagem para a ciência. Se podemos afirmar algo sobre a ciência do século XXI em relação à ciência do início do século XX, é que continuam-se utilizando comunicações no formato de artigos para divulgar novos resultados produzidos pelos cientistas, por exemplo. Por outro lado, a complexidade (social, técnico-operacional) de empreendimentos como o LHC (*Large Hadron Collider*) e outros artefatos da chamada *Big Science* complicam qualquer aproximação entre os dois períodos no que tange asseverar a “real” natureza de como se constrói a ciência, sob pena de simplificação inadequada⁴. Também por isso, o projeto de “ajudar a transmitir uma visão mais adequada sobre a [NdC]” também entra sob suspeita. Sem dúvida, conhecemos razoavelmente bem muitas visões inadequadas sobre a ciência desde bastante tempo atrás (GIL-PÉREZ et al., 2001), mas dada a diversidade das ciências hoje (embora também no passado), será que faz sentido tentar transmitir uma “visão mais adequada”? Qual seria essa visão? A visão estrutural de Thomas Kuhn ou de Ludwik Fleck ou, ainda, versões menos estruturais como de Harry Collins ou Joseph Rouse? Se recuperamos o debate sobre por que motivo começamos a trabalhar temas de epistemologia da ciência em sala de aula, encontraremos argumentos relativos a melhorar a tomada de decisões sobre temas científicos, preocupações com um possível absolutismo científico (no sentido proposto por Oreskes, 2019), entre outras. Tais preocupações remetem à necessidade de garantir que a ciência trabalhe em favor de um bem-estar coletivo, o que diz respeito, precisamente, a discutir que posição a ciência deve ocupar na sociedade. Assim, mais do que incutir esta ou aquela visão sobre como funciona a ciência, o papel da educação científica deveria ser abrir uma discussão sobre os rumos da sociedade, em primeiro lugar, e o papel das ciências nessa sociedade. Ou seja, não se trata exclusivamente de um objetivo de conhecer algo, mas de reconhecer-se em um papel ativo na construção da sociedade, a partir da discussão de seus rumos, nesse caso, uma discussão fundamentada na História.

Ainda sobre as motivações listadas por Matthews (1995), encontramos diversas vantagens relacionadas ao conhecimento, ora conceitual (“compreensão melhor dos conceitos científicos”), ora epistemológico (“compreensão mais profícua do método científico”; “demonstra que a ciência é mutável e instável”). A estes objetivos, não



quero contrastar outros, mas cabe observar que as perspectivas emergentes sobre educação em ciências apontam para um ensino que seja capaz de transitar entre os níveis de sofisticação de que Hodson (2010) trata; para isso, os objetivos de conhecimento não são suficientes; há que se trabalhar na discussão de valores, percepção de questões mais amplas relacionadas ao bem comum, entre outras. Se Hodson (2010) aponta, por exemplo que, em um primeiro nível, é importante analisar o impacto social das mudanças científicas e tecnológicas e devemos reconhecer o imbricamento cultural das ciências, entendo que esse é um chamado não apenas a contemplar a ciência desta ou daquela maneira, mas a analisar o impacto histórico do empreendimento científico em diversos momentos de seu desenvolvimento.

Por exemplo, é hoje conhecido que as expedições de colonização das Américas no século XVI e posteriores foi responsável por um fluxo sem precedentes de espécies animais e vegetais entre os continentes (LEWIS; MASLIN, 2016), levando a uma alteração de ecossistemas, uma nova distribuição de doenças, antes restritas a determinados lugares, entre diversas outras alterações significativas no sistema Terra. Do ponto de vista cultural, nota-se que ainda ligado a esse processo de colonização, está a expansão dos domínios do próprio conhecimento científico. Pimentel (2007) localiza na ampliação de horizontes decorrente das chamadas Grandes Navegações grande parte da que se produz no mesmo período na ciência. A premissas do universalismo, pilar essencial para a consolidação da Ciência Moderna Ocidental como conhecemos hoje, se estabelece a partir do apagamento de diferentes formas de conhecer o mundo, no processo de colonização; assim, o universal se constitui a partir da invisibilidade da diversidade epistemológica, ontológica e cultural que constituía o mundo naquele momento e ainda hoje (SANTOS, 2008). Sendo assim, mais do que contemplar a construção do edifício científico, podemos atender ao chamado de Hodson (2010) e buscar entender, através da História (da ciência), a extensão dos impactos sociais e culturais das mudanças científicas, que, por sua vez, eram também determinadas culturalmente. Assim, a partir desse episódio, podem-se discutir questões como: o que significou tal fluxo de espécies no mundo para o equilíbrio do sistema Terra, quais são suas consequências até hoje e como isso se reverteu (ou não) em benefícios para as diferentes populações (humanas e não-humanas) ao redor da Terra? Muito mais do que algo restrito a episódios específicos, questões de mesma natureza podem ser feitas para as mais diversas ocasiões na química, por exemplo, uma ciência que se desenvolveu em grande medida em

par com o desenvolvimento industrial – uma tecnociência por excelência; ainda, a física, com suas conexões com a engenharia e o seu mergulho em corridas espaciais que possuem íntimas ligações com processos políticos e culturais que ocorrem de tempos em tempos. Explorar tais conexões não implica necessariamente gerar juízos de valor ou perder-se em avaliações maniqueístas ou meramente acusatórias em relação às ciências, mas sim pressupõe explorar as complexas relações entre ciência e sociedade de forma que os espaços de ensino e aprendizagem de ciência sejam também espaços de discussão sobre a sociedade, de maneira mais ampla – incluído aí o papel da ciência nessa sociedade. Com tais avaliações, é possível discutir-se quais tipos de ciência devemos priorizar em nossas sociedades e que futuros queremos buscar com tais escolhas.

No segundo nível proposto por Hodson (2010), entende-se como importante reconhecer os interesses particulares que por vezes se impõem sobre os benefícios a uma maioria, ou, de outra forma, busca-se escrutinizar as conexões entre as decisões sobre desenvolvimento científico e a distribuição de riqueza e poder. Aqui, a história da saúde e das doenças, sem dúvida, nos fornece um material interessante para essa discussão. Como tem sido ao longo da história a distribuição de financiamento entre a pesquisa sobre as chamadas doenças negligenciadas se comparado e o que se gasta com pesquisas a respeito de cosméticos? Longe de ser algo que se relaciona apenas a financiamento, a questão do poder está presente na própria ciência. Oreskes (2019) mostra como a pesquisa científica em relação a anticoncepcionais masculinos foi abandonada após indícios de alterações de humor durante o uso da medicação, conforme evidências; ocorre que o mesmo tipo de evidência foi descreditado e descartado na pesquisa sobre anticoncepcionais femininos, levando, portanto, ao avanço dos anticoncepcionais femininos e não os masculinos. Com isso, não pretendo apontar (tampouco Oreskes) que a ciência não é digna de confiança, mas sim que, conforme lições dos estudos feministas da ciência (HARDING, 2015), multiplicar os sujeitos que participam da construção da ciência pode contribuir para uma objetividade forte, isso é, a minoração dos fatores subjetivos que são intrínsecos à atividade de qualquer cientista. Isso significa empoderar outros sujeitos e grupos sociais, portanto, uma questão relacionada à distribuição de poder na sociedade. Aqui, há que se considerar a pluralidade de ciências que existem e seus diferentes objetivos e impactos na sociedade: a Engenharia Genética é ciência tal qual a Ecologia; ciências como a Geo-Engenharia possuem diferentes linhas de pesquisa.



Essas diferentes ciências e linhas de pesquisa representam (ou representaram) quais impactos e quais objetivos na sociedade? O que podemos aprender a partir dessas considerações no sentido de avaliar a sociedade de forma mais ampla, suas estruturas de poder e de manutenção das desigualdades (sociais, econômicas, de gênero, classe e raça), e de que forma as diferentes ciências podem ajudar nesse processo de diminuição das desigualdades?

Quanto ao nível 3 e nível 4, Hodson (2010) chama atenção para a necessidade de desenvolver visões autônomas, posições de valor, e, a partir dessas, desenvolver a capacidade de atuar em questões sociocientíficas e ambientais. De fato, o autor preocupa-se com a possibilidade de doutrinação de estudantes, tendo em vista os temas sensíveis que em geral são tocados quando se abordam questões sociocientíficas, por exemplo. Baseando-se em Zeidler e colaboradores, Hodson (2010) aponta que, considerando que a doutrinação de estudantes é moralmente inaceitável e, de outro lado, uma educação sem valores é impossível, os estudantes deveriam ser ensinados a tratar questões controversas de maneira racional, diligente, tolerante, moral, analisando diferentes pontos de vista, reconhecendo inconsistências, contradições e inadequações para alcançar suas próprias conclusões. Isso sem falar sobre as questões relacionadas ao afeto (ALSOP, 2005) e que ultrapassam a ética meramente do discurso (OLIVEIRA; QUEIROZ, 2016), que também precisam estar na pauta. De toda forma, trabalhar com casos históricos, conforme Allchin (2011) argumenta, sem dúvida é uma fonte excelente de recursos para exercitar tais posicionamentos, atitudes e valores. Em relação ao nível 4, que compreende a ação sociopolítica – aqui pressupõe-se a organização para ação, e ação efetiva para que se evite a posição de “críticos de poltrona” –, penso que, salvo melhor avaliação, o estudo de episódios históricos talvez não tenha tanto a contribuir diretamente, mesmo em casos que mostrem algum tipo de situação que se repita no presente, como são os casos de machismo na ciência, etnocentrismo, entre outros. Embora o conhecimento da dimensão histórica dos problemas seja importante, este parece estar mais associado ao âmbito dos níveis menos sofisticados apontados por Hodson (2010). Assim, os episódios históricos podem ser bons aliados na construção de argumentos (historicamente) embasados, na percepção de injustiças históricas e contemporâneas e na construção de ligações afetivas com atores históricos humanos e não-humanos que seguem em posições vulneráveis na atualidade. Afinal, conforme Chang (2021) propõe, a história da ciência, “como os funerais, é para os vivos”, ou

seja, quando produzimos narrativas em HC, visto que tais narrativas são sempre orientadas a algum objetivo específico, estamos inevitavelmente em diálogo com as questões da atualidade.

A partir de levantamento de tendências da Educação em Ciências aqui realizado, é possível apontar que, se adotamos uma perspectiva sociopolítica para a EC, novas perspectivas surgem para o campo da HC e Ensino. Cabe notar que tal argumentação nos levou a advogar principalmente por aspectos sobre a ciência que estão no domínio “não-epistêmico”, conforme classificação de Erduran e Dagher (2014). Tal fato não é acidental: conforme notado por Gandolfi (2019a), tais aspectos ficam mais salientes do que os aspectos epistêmicos quando são levadas em conta preocupações com os ambientes interculturais de escolas e os aspectos políticos da construção do conhecimento.

No entanto, tais aspectos não derivam diretamente de toda e qualquer abordagem de História da Ciência. Retomando Gurgel (2020), assim como existem diferentes ênfases curriculares, também há plurais histórias das ciências que, assim, alinham-se e desalinham-se a cada uma das ênfases curriculares propostas por Gurgel (2020). São essas ênfases: **formal**, que privilegia o domínio dos aspectos formais de uma ciência, em que se espera um pensamento racionalmente estruturado; **epistemológica-conceitual**, que envolve a compreensão dos fundamentos conceituais das ciências; **filosófica-cultural**, que reúne discussões sobre as características das ciências e suas relações com outras manifestações culturais; **habilidades científicas**, que considera que saber [ciências] é dominar habilidades típicas da prática científica; **cotidiano**, que destaca a compreensão do cotidiano como um objetivo em si; **CTSA-QSC**, que defende que saber ciências é refletir sobre as relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), transformando este saber em práticas políticas através de uma cidadania ativa; e **identitária**, que considera que o currículo é um processo de formação de identidades, no qual a construção de relações subjetivas com o conhecimento é um elemento importante. Assim, uma história intelectual, que busca reconstruir os detalhes da construção de determinados conceitos, com atenção minorada aos aspectos culturais e sociais, deve estar mais bem alinhada a uma perspectiva formal ou epistemológica-conceitual do que a uma perspectiva identitária, por exemplo.

Partindo dessa observação, é útil tentar identificar, dentro da pluralidade de historiografias que caracteriza a História da Ciência na contemporaneidade, aque-



las que favorecem as ênfases curriculares que mais aproximam-se à perspectiva sociopolítica à qual nos alinhamos neste ensaio. Cabe notar a esse respeito que nem as ênfases curriculares caracterizadas acima são totalmente estanques, tampouco uma perspectiva sociopolítica prescinde inteiramente de aspectos epistêmicos ou mais formais do conhecimento. Por isso são tratadas como ênfases (realces, relevos) e perspectivas (uma vista específica, dentre outras) que carregam consigo a possibilidade do plural e do híbrido. Na próxima seção trataremos brevemente de duas historiografias emergentes que cumprem o papel sociopolítico advogado nesse ensaio.

Historiografias emergentes como aliadas no turno sociopolítico da Educação em Ciências

Dentro do campo da História da Ciência, existem pelo menos dois movimentos historiográficos que vêm se destacando ao serem trazidos à Educação em Ciências com a intenção de buscar uma aproximação com as perspectivas sociopolíticas que exploramos nesse ensaio.

Começando pela História Global das Ciências, tal perspectiva historiográfica busca descrever o empreendimento científico como um produto de trocas materiais e cognitivas, apropriações, colaborações entre diferentes tradições culturais, e circulação entre diferentes tipos de conhecimento ao redor do mundo, promovidos em contextos geográficos e históricos (GANDOLFI, 2019b). Trata-se aqui de uma perspectiva que volta as lentes da História para processos globais que, conforme Gandolfi (2019b) ressalta, não tem a pretensão de afirmar uma universalidade do conhecimento produzido pela ciência, mas sim o reconhecimento das diferentes contribuições para a produção de tal conhecimento, inclusive atores humanos e não-humanos. A partir de Roberts (2008) é possível notar um programa decolonial/pós-colonial nessa abordagem. Ela nasce com a preocupação de trazer ao centro das narrativas a questão do imperialismo, os processos de colonização, entre outros aspectos que buscam fazer justiça em relação aos apagamentos que possam ter ocorrido nas narrativas hegemônicas sobre ciência.

Ao transpor a História Global das Ciências à EC, Gandolfi (2019a) busca harmonizar esta proposta a perspectivas interculturais para a EC. Com isso, perguntas como: “como se sabia o que sabia?”, “como esse conhecimento chegou na Europa?”, entre outras, buscam explorar os fluxos de conhecimento e recursos ao redor do

mundo, bem como escrutinizar as contribuições de diversos povos para a construção do conhecimento científico

Já a História Cultural das Ciências é descrita por Moura (2019a) como uma perspectiva traçada a partir da vertente da História Cultural, representada por Peter Burke, por exemplo (dentre outros), em que a partir de um viés preponderantemente microhistórico, tem-se a atenção voltada a fazeres cotidianos de determinada prática cultural em análise. No caso das ciências⁵, a partir dessa abordagem historiográfica, o foco da análise a ser implementada são as ações produzidas pelos diferentes atores da ciência e mesmo aqueles atores sociais antes não incluídos nas análises sobre a ciência (trabalhadores manuais, técnicos, assistentes, tradutores e divulgadores, entre outros). Ao apostar muitas vezes em uma história narrada na “voz passiva” (MOURA, 2019a) são privilegiadas as descrições dos aspectos culturais e materiais das práticas científicas, isto é, das práticas em torno aos instrumentos e técnicas usadas nos laboratórios ou ao registro de dados, das comunicações estabelecidas entre os cientistas tanto para discutir quanto para divulgar seus trabalhos, da construção de ferramentas matemáticas de análise, de representação e construção de modelos, entre outras (MOURA; GUERRA, 2016). Assim, leva-se ao entendimento de como os cientistas disseminam suas ideias, como estabelecem relações sociais com outros cientistas e não-cientistas e como essas diversas práticas do cotidiano constroem o conhecimento científico, bem como destaca os diferentes atores incluídos nessas práticas.

Quando levada à EC, as premissas da História Cultural das Ciências, na leitura de Moura (2019a), imbuído de um olhar pós-colonial, levam ao desenvolvimento de narrativas históricas que deslocam de seu núcleo principal os grandes nomes da ciência e como estes atuaram para o estabelecimento de novas teorias, colocando em seu lugar as práticas e representações científicas, através da cultura material e visual, e como estas mudaram ao longo do tempo. Com isso, é possível traçar as rotas que nos permitam entender como a ciência se sustentou social, cultural e temporalmente, com atenção principalmente aos apagamentos e assimetrias de poder. Isso possibilita encaminhar questionamentos sobre a quem foi permitido e a quem foi negado participar de tal história, o reconhecimento (e possível reabilitação) de epistemes marginalizadas, entre outras.

Ambos os movimentos historiográficos representam o redirecionamento das ênfases a novas questões que se localizam mais preponderantemente, conforme argumentado, no campo do não-epistêmico e que se alinham, conforme Moura et al.



(2021) argumentam, ao turno sociopolítico da EC. Cabe ressaltar que, se por si só tais movimentos representam oportunidades do campo HFSC na EC para aproximar-se de uma perspectiva sociopolítica, ao mesmo tempo a “(re)descoberta” da história como fonte potencial de discussões fundamentais para o presente e futuro, pode ser capaz de polinizar os demais campos da EC, convidando-os a explorar a dimensão histórica de seus problemas. Como falar de descolonização do conhecimento sem ir a fundo nos processos coloniais⁶ que lhes sustentaram ou sem buscar construir o que foi apagado a partir das narrativas hegemônicas? Como propor a interculturalidade e o convívio na diversidade sem explorar as assimetrias históricas de poder que subalternizaram determinadas manifestações culturais em comparação a outras? Com isso, não proponho aqui um reducionismo pobre de diferentes linhas de pesquisa às perspectivas da HFSC na EC, mas chamo a atenção para o desperdício de não se explorarem de forma profunda e sistemática tais intersecções. Há, no entanto, bons exemplos a esse respeito como os trabalhos em história da química de Silva e Pinheiro (2018) e Pinheiro (2020). Um olhar sistemático para a literatura certamente deve encontrar mais trabalhos além desses, visto que a linha de diversidade e multiculturalismo tem apresentado fôlego renovado nos últimos anos (NASCIMENTO; GOUVÊA, 2020).

As duas linhas historiográficas brevemente apresentadas aqui são, certamente, apenas duas possibilidades dentre outras de acercar-se a um turno sociopolítico na EC. Além disso, há muito trabalho a ser feito (muitos deles já estão em progresso) a respeito de como efetivar tais abordagens na educação básica, na formação de professores, nas políticas de currículo, entre outros espaços. O que pretendi aqui foi apenas apontar brevemente as iniciativas que já existem e que buscam alinhar-se à perspectiva sociopolítica apresentada nesse artigo. Passo, na próxima seção, a sintetizar os movimentos deste ensaio.

Em direção a uma síntese

Propus neste ensaio retomar os argumentos mais comuns para defender o uso de abordagens históricas na Educação Científica e explorar que outras perspectivas e argumentos podem ser construídos hoje para as abordagens históricas na Educação Científica, especificamente levando em consideração o emergente turno sociopolítico na EC.

A partir da retomada de dois dos artigos mais citados no Brasil na área de HFSC na EC (MATTHEWS, 1995; MARTINS, 2006), em um primeiro momento avaliei seus argumentos a partir dos próprios avanços de tal área e, em um segundo momento, apreciei possibilidades de expansão de tais argumentos, em diálogo principalmente com Hodson (2010), que é um dos principais acadêmicos envolvidos no turno sócio-político da EC. A seguir, busco sintetizar esses argumentos sobre por que abordar a HFSC na EC, tanto os que endosso a partir dos artigos seminais, quanto os novos que busquei construir nas seções anteriores. Dessa forma, as abordagens históricas na EC podem:

- **Ajudar a compreender as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente como relações de co-produção, combatendo a visão de que o empreendimento científico seria uma “aventura desinteressada” no mundo do conhecimento.** Tais relações são complexas e se expressam através dos sistemas de financiamento, da interação com instituições sociais diversas e estruturas de poder político, mas também através da (re)produção de estruturas, práticas e valores sociais que frequentemente estão ligadas a injustiças sociais e vão contra ao bem-estar coletivo.
- **Ajudar na discussão sobre os processos de construção de conhecimento, buscando afastar o mito do “Método Científico” universal e homogêneo que permitiria chegar a verdades, e investigando seus procedimentos e limitações para compreender sua variabilidade ao longo da história de acordo com as condições materiais e culturais de cada tempo e espaço.** Assim, poder-se-ia discutir que os modelos e práticas científicas são situados historicamente, sendo responsivos às questões de seu tempo, e que tais questões são, por sua vez, alimentadas por modelos anteriores e condições materiais específicas daquele tempo e espaço. Tal componente epistêmico (porém não exclusivamente epistêmico) é precisamente parte de uma compreensão melhor dos conceitos científicos, entendidos não como modelos e teorias acabadas, mas como objetos de conhecimento sustentados por longas redes de actantes.
- **Avaliar a participação do empreendimento científico na conformação de como hoje a sociedade se relaciona com a natureza.** Essa avaliação não pretende adotar simplesmente um tom acusatório à ciência – mesmo porque aqui adota-se um olhar para a ciência desde uma



perspectiva de co-produção com as demais instituições sociais –, mas de buscar imaginar como esse papel pode ser repensado no presente e para o futuro (MOURA; GUERRA, no prelo). Isso implica também de reabilitar saberes e perspectivas de convivência com a Terra que foram dispensadas sem uma avaliação cuidadosa, mas somente por não atender aos cânones do saber europeu de determinadas épocas (SANTOS, 2008). Essa proposta vai além da perspectiva de humanizar a matéria, mas passa a reconhecer a natureza não como um objeto, como um recurso ao dispor dos humanos, mas como algo que participa da “dança da agência” (PICKERING, 2010) que perfaz os processos de construção da ciência.

- **Ajudar a compreender os processos de invisibilização de determinadas contribuições à ciência a partir de narrativas que reconheçam tais contribuições.** Assim, se buscaria simultaneamente promover a justiça social ao reconhecer tais contribuições, mas também expandir a narrativa sobre a construção da ciência, desafiando a ideia de cientistas como gênios isolados, mas indo além, ao reconhecer papéis que, de tanto serem forçados a um lugar subalterno, acabaram por ter sua contribuição relegada a um plano de menor importância para a produção do conhecimento. Aqui, localizam-se tanto os estudos que vêm ressaltando a contribuições de mulheres, pessoas negras (PEREIRA et al., 2019) e pessoas de orientações sexuais diversas ao padrão hetero-cis-normativo⁷, como também estudos que analisam contribuição de trabalhadores diversos (além de assistentes, instrumentadores e outros) em episódios de HC (FERREIRA, 2021).
- **Auxiliar na busca por aproximações e distanciamentos entre as histórias que podem ser contadas sobre as ciências e as histórias de vida, condições sociais e aspectos das identidades dos estudantes.** Em certo sentido, este benefício das abordagens HFSC segue do ponto anterior. Mais do que motivar e atrair os alunos, é importante que, entendendo os trajetos curriculares em sala de aula como processos de construção de subjetividades, busquemos aproximar as histórias contadas sobre as ciências das diferentes histórias dos próprios estudantes (MOURA, 2019a; MOURA et al., 2020). Com isso, pretende-se contribuir para um potencial engajamento cívico (RUDOLPH; HORIBE, 2016) dos estudantes a partir de sua compreensão como sujeitos da História presente, ao perceberem-se refletidos em Histórias passadas.

A partir dessa síntese, entendo que principalmente o primeiro e segundo ponto abarcam a maioria das contribuições anteriores, notadamente as contribuições seminais de Matthews (1995) e Martins (2006), enquanto os outros três pontos buscam avançar as potencialidades do campo HFSC e Ensino, ao dialogar diretamente com preocupações do presente, seguindo a trilha de uma historiografia ativista, conforme argumento de Chang (2021). Muitos desses pontos já vem sendo explorados em trabalhos tanto da História da Ciência quanto da Educação em Ciências. Busquei reconhecer alguns destes ao longo do texto. No entanto, certamente há muitos outros já publicados em desenvolvimento que não foram citados aqui, mas que fazem parte dos movimentos que busquei rascunhar brevemente nesse curto ensaio.

Não tratei nesse texto dos diversos contingenciamentos a que está sujeita esta proposta em temas como a formação de professores e a força das tradições disciplinares, o que, pela complexidade, certamente demandará esforços de pesquisa bem direcionados. Reconheço também que as próprias condições materiais e culturais, de maneira mais ampla, do fazer educativo no Brasil podem ser obstáculos a várias das propostas que argumento aqui, embora não tenha apontado caminhos específicos de implementação (que não são o objeto do ensaio). Isso porque não há dúvidas de que tais propostas demandam de nós, professores da educação básica, tempo para pesquisa, para planejamento cuidadoso, que inclui conhecer bem nossos alunos, oportunidade de avaliá-los de maneira apropriada, entre muitas condições que não estão disponíveis à maioria dos docentes em nosso país. Entretanto, espero que as ideias aqui descritas inspirem novas pesquisas nesses temas que criem outras evidências empíricas para corroborar ou contrapor tais vantagens que busquei traçar a partir de literatura anterior. Há, ainda, um longo caminho a percorrer na construção de uma Educação em Ciências orientada ao bem-estar coletivo (humano e não-humano) e à justiça social e ambiental e certamente a História, a Filosofia e a Sociologia das ciências podem ser poderosos aliados nesse caminho.



History of Science in Teaching – for what? Some directions from a sociopolitical perspective

Abstract

Since the consolidation of the research field History, Philosophy and Sociology in Science Education, it is possible to notice the set of some arguments that are commonly employed to defend the usage of historical approaches to science education. Considering the changes the world has gone through in the last decades and the critical moment we live in today, this theoretical essay aims to investigate other perspectives and arguments that can be built today for historical approaches in Science Education. For this, I initially return to the most common arguments to defend the use of historical approaches in Science Education, analyzing them in the light of some arguments from this field. I present the emerging sociopolitical turn in Science Education, expanding the arguments initially analyzed, in dialogue with authors from the sociopolitical turn in Science Education. Finally, five comprehensive arguments are presented on why to approach the history of science in Science Education.

Keywords: History of Science, Science Education, sociopolitical turn.

Notas

- ¹ Certamente há tensões entre os campos da História, Filosofia e Sociologia da Ciência em seus métodos de trabalho, modos de pensar e produzir conhecimento e objetivos. Tais tensões também existem quando tais campos do conhecimento são “traduzidos” em abordagens educacionais, o que resulta em diferentes apropriações da HFSC na Educação em Ciências. Apesar disso, opto por não entrar em tal debate nesse artigo. Aqui, sempre que me referir à história da ciência no ensino (ou abordagens históricas), me referirei indistintamente às abordagens de cunho exclusivamente histórico ou filosófico ou sociológico quanto às abordagens que buscam a integração desses campos.
- ² Por evidente, aqui não imputo exclusivamente à perspectiva de ensino sobre as ciências (ou mesmo à Educação em ciências) a possibilidade de alcançar uma situação de justiça social e bem-estar coletivo, o que seria apostar em uma ilusória panaceia. No entanto, conforme argumento, tais objetivos deveriam estar no centro das preocupações da educação, seja ela científica ou não.
- ³ Para referências a estas e outras asserções com as quais traço o cenário geral, sugiro conferir Moura (2019a; 2019b).
- ⁴ Cabe notar aqui que opto por caminho similar ao de Hodson e Wong (2017) ao não fazer a distinção entre os processos pelos quais se faz a pesquisa científica e o conhecimento produzido por esses processos – definido na literatura como NOSK (Natureza do Conhecimento Científico, em tradução livre) e NOSI (Natureza da Investigação Científica, em tradução livre).
- ⁵ Entre os escritores que se alinham a essa vertente estão diversos autores como Juan Pimentel, Peter Galison, Ursula Klein, entre outros, que advogam tal abordagem em livros-chave de sua obra. Recentemente, foi anunciado ainda o lançamento de uma antologia de História Cultural da Química, coordenada por Peter J. T. Morris e Alan Rocke, o que é forte indício do impulso que tal vertente tem tido na literatura recente.
- ⁶ Ainda que a colonialidade, conforme Quijano (2009) vá além do momento histórico de colonização, é fundamental perceber os entrecruzamentos entre as diversas colonialidades que persistem e as colonizações históricas ocorridas, principalmente (em nosso contexto) nas Américas e na África.
- ⁷ Para conhecer mais sobre esse tema de pesquisa, recomendo o projeto “Transformational HPS” <www.transformationalhps.org>.

Referências

- ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. **Science Education**, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011.
- ALSOP, S. (Ed.) **Beyond Cartesian Dualism: Encountering Affect in the Teaching and Learning of Science**. Springer Science & Business Media, 2005.
- BENCZE, L.; ALSOP, S. (Eds.). **Activist science and technology education**. Springer Netherlands, 2014.
- CHANG, H. Presentist history for pluralist science. **Journal for General Philosophy of Science**, v. 52, p. 97-114, 2021.
- CORBETT, M. Captain Beefheart's piano: Confessions of an unrepentant illiterate. **International journal of critical pedagogy**, v. 1, n. 2, p. 148-159, 2008.
- SILVA, L. H.; PINHEIRO, B. C. S. Produções científicas do antigo Egito: um diálogo sobre Química, cerveja, negritude e outras coisas mais. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 4, n. 1, p. 5-28, 2018.
- DOS SANTOS, W. L. P. Scientific literacy: a freirean perspective as a radical view of humanistic science education. **Science Education**, v. 93, n. 2, p. 361-382, 2009.
- ERDURAN, S.; DAGHER, Z. R. **Reconceptualizing Nature of Science for Science Education**. Springer Netherlands, 2014.
- FENSHAM, P. J. **Defining an identity: The evolution of science education as a field of research**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- FERREIRA, P. P. A. L. O Eclipse de Sobral de 1919 a partir da História Cultural da Ciência: um desvio no caminho para uma Educação em Ciências problematizadora. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Educação) – Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2019.
- GANDOLFI, H. E. **Exploring and implementing an intercultural model of history of science to teach about nature of science**. Unpublished PhD thesis submitted to UCL Institute of Education, University College London, UK, 2019b.
- GANDOLFI, H. E. In defence of non-epistemic aspects of nature of science: insights from an intercultural approach to history of science. **Cultural Studies of Science Education**, v. 14, n. 3, p. 557-567, 2019a.
- GIL-PÉREZ, D.; FERNANDEZ MONTORO, I.; CARRASCOSA ALÍS, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.
- GURGEL, I. Reflexões político-curriculares sobre a importância da História das Ciências no contexto da crise da modernidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, p. 333-350, 2020.
- HARDING, S. **Objectivity and diversity**. Chicago: University of Chicago Press, 2015.
- HODSON, D. Science education as a call to action. **Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education**, v. 10, n. 3, p. 197-206, 2010.



HODSON, D.; WONG, S. L. Going Beyond the Consensus View: Broadening and Enriching the Scope of NOS-Oriented Curricula. **Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education**, v. 17, n. 1, p. 3–17, 2017. DOI: 10.1080/14926156.2016.1271919

IRZIK, G.; NOLA, R. A family resemblance approach to the nature of science for science education. **Science & Education**, v. 20, n. 7-8, p. 591-607, 2011.

LEMKE, J. L. Articulating communities: Sociocultural perspectives on science education. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 38, n. 3, p. 296-316, 2001.

LEWIS, S. L.; MASLIN, M. A. Defining the anthropocene. **Nature**, v. 519, n. 7542, p. 171, 2015.

MARQUES, A. R.; REIS, P. Production and dissemination of digital videos on environmental pollution. Case Study: Collective research-based Activism. **Revista Eureka sobre Ensenanza y Divulgacion de las Ciencias**, v. 14, n. 1, p. 215-226, 2017.

MARTINS, R. A. Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. In: Silva, C. C. (org.) **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, p. 17-30, 2006.

MATTHEWS, M. “História, filosofia e Ensino: a tendência atual de reaproximação”. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MATTHEWS, M. R. History, philosophy, and science teaching: The present rapprochement. **Science & Education**, 1(1), p. 11-47, 1992.

MOURA, C. B. **Educação Científica, História Cultural da Ciência e Currículo: articulações possíveis**. 2019. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Educação) – Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2019.

MOURA, C. B. O Ensino de Ciências e a Justiça Social – questões para o debate. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 1-7, 2019.

MOURA, C. B.; GUERRA, A. Cultural History of Science: A Possible Path for Discussing Scientific Practices in Science Teaching? **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 3, p. 749-771, 2016.

MOURA, C. B.; GUERRA, A. Rethinking Historical Approaches for Science Education in the Anthropocene. In: M. F. G. Wallace, J. Bazzul, M. Higgins, S. Tolbert (Eds.) **Reimagining Science Education in the Anthropocene**, NY: Palgrave MacMillan, no prelo.

MOURA, C. B.; NASCIMENTO, M. M.; LIMA, N. W. Epistemic and Political Confrontations Around the Public Policies to Fight COVID-19 Pandemic. **Science & Education**, v. 30, n. 3, p. 501-525, 2021.

NASCIMENTO, H. A.; GOUVÊA, G. Diversidade, Multiculturalismo e Educação em Ciências: Olhares a partir do Enpec. **Revista Brasileira de Pesquisa Em Educação Em Ciências**, p. 469-496, 2020.

OLIVEIRA, R. D. V. L.; QUEIROZ, G. R. P. C. Professores de Ciência como Agentes Socioculturais e Políticos: A Articulação de Valores Sociais e a Elaboração de Conteúdos Cordiais. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 2, n. 2, p. 14-31, 2016.

ORESQUES, N., **Why trust science?** New Jersey: Princeton University Press, 2019.

PEREIRA, L. S.; SANTANA, C. Q.; BRANDÃO, L. F. S. P. O apagamento da contribuição feminina e negra na ciência: reflexões sobre a trajetória de Alice Ball. **Cadernos de Gênero e Tecnologia**, v. 12, n. 40, p. 92-110, 2019.

PICKERING, A. **The mangle of practice**. Chicago: University of Chicago Press, 2010.

PIMENTEL, J. La Revolución Científica. In: ARTOLA, M. (Eds.) **História de Europa: Tomo II**. Madrid: Espasa Calpe, 2007. p. 163-238

PINHEIRO, B. C. S. O período das artes práticas: A química ancestral africana. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 6, n. 1, p. 4-15, 2020.

QUIJANO, A. Colonialidade do poder e classificação social. In: SANTOS, B. S.; MENESES, M. P. (Eds.) **Epistemologias do Sul**. Coimbra: Almedina, 2009. p. 73-118.

ROBERTS, D. A. Scientific literacy/science literacy. In: ABELL, S. K.; LEDERMAN, N. G. (Eds.) **Handbook of research on science education**. Mahwah: Lawrence Erlbaum, 2007. p. 729-780

ROBERTS, L. Situating science in global history: Local exchanges and networks of circulation. **Itinerario**, v. 33, n. 1, p. 9-30, 2009.

RUDOLPH, J. L.; HORIBE, S. What do we mean by science education for civic engagement? **Journal of Research in Science Teaching**, v. 53, n. 6, p. 805-820, 2016.

SANTOS, B. S. A Ecologia de saberes. In: Santos, B. S. **A Gramática do Tempo: para uma nova cultura política** v.4. São Paulo: Cortez Editora, p. 137-165, 2008.

SJÖSTRÖM, J.; EILKS, I. Reconsidering different visions of scientific literacy and science education based on the concept of Bildung. In: DORI, Y. J.; MEVARECH, Z. R.; BAKER, D. R. (Eds.) **Cognition, metacognition, and culture in STEM education**. Cham: Springer, 2018. p. 65-88.

TOLBERT, S.; BAZZUL, J. Toward the sociopolitical in science education. **Cultural Studies of Science Education**, v. 12, n. 2, p. 321-330, 2017.



The teaching of physics and the practice of science: bridging them with the philosophy of scientific models in the case of particle physics

João Pedro Ghidini*, André Fantin**, Ivã Gurgel***, Marcelo Gameiro Munhoz****

Abstract

Globally, public policy formulators, science education researchers, teachers and students sustain the teaching of topics from Modern and Contemporary Physics in basic school. Among those topics, the potential insertion of Particle Physics in secondary school is investigated. In this context, already present in publications from over two decades, are critical propositions to the “Laundry List”, which consists in a teaching that is reduced to presenting the numerous elementary particles, much criticized for promoting a “received view” of the Standard Model. In the present work, converging with this criticisms, we propose an engagement based curriculum that seeks to teach the content of science and about science. The argumentation about science is connected to investigations developed by the Nature of Science area. Afterward, we identify the Feynman Diagrams as models in the understanding of the pragmatic conception of the Philosophy of Science. Finally, we analyse some pedagogical proposals involving the Feynman Diagrams that have overcome the “Laundry List” approach and compare them to our proposal.

Keywords: Particle Physics Teaching, Feynman Diagrams, Models, Curriculum, Nature of Science.

* Master student of Science Teaching at the Interdepartmental Program for Science Teaching of University of São Paulo. E-mail: joao.ghidini.silva@usp.br . ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8949-6732>

** Master student of Science Teaching at the Interdepartmental Program for Science Teaching of University of São Paulo. E-mail: andre.fantin@usp.br . ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6621-6299>

*** Professor at the Department of Experimental Physics of the Institute of Physics of University of São Paulo. E-mail: gurgel@if.usp.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4968-6907>

**** Associate Professor of the Nuclear Physics Department, HEPIC building, of the Institute of Physics of University of São Paulo. E-mail: munhoz@if.usp.br. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3695-3180>

Introduction

Proposals related to the teaching of Particle Physics have been discussed for some years, both for undergraduate physics and for high schools (PIETROCOLA, 2010; PASSON, ZÜGGE; GREBE-ELLIS, 2018). As it is a topic of Modern and Contemporary Physics, in many countries (such as Brazil) its teaching in schools is associated with curriculum innovation, which implies a series of difficulties. Pietrocola and Gurgel (2017) suggest that the obstacles encountered in their teaching are both of the didactic-epistemological type (related to the difficulties of knowledge itself, such as phenomenology, formalization, conceptual structure and ontology), and of the didactic-pedagogical type (related to the difficulties in teaching this knowledge, associated with the preconceptions of participants in the school environment).

In the face of these difficulties, even in scenarios where Particle Physics (PP) is taught, some authors identify recurrent problems in the approaches. In Germany, Passon, Zügge and Grebe-Ellis (2018) carried out a systematic bibliographic survey of the European and Anglophone PP teaching literature, including content defenses, teaching proposals and curricula, criticizing the so-called “received view” of PP. This is how PP is characterized according to this conception: starting from the Standard Model and presenting quarks and leptons as “fundamental blocks” of the material world; interactions are characterized as exchanges of particles; the visualization of interactions is valued, for the realization of which, at times, he appropriates the Feynman Diagrams (FD). In the US, Hobson (2011) criticizes this approach and names it “Laundry List”. In Brazil, Ostermann (2020) pointed out that one of his concerns is to understand aspects related to Quantum Mechanics relevant to PP because, in the absence of discussion on physical principles of this discipline, in high school, the theme of Elementary Particles can fall into a classification exercise and memorization of a subatomic zoo, and even suggested that the Particle Physics teaching area should dialogue more with the curricular research of science education.

A large part of these concerns mentioned above assume that **knowledge** - or more specifically, **disciplinary knowledge** - is of fundamental importance for teaching-learning proposals. Going further, the objective is not (or, in our view, it should not be) that this knowledge replaces traditional knowledge exercising the same function it commonly performs: memorization to succeed in the exam. If it



were, the “Laundry List” approach would not necessarily be a problem, it is still a good source of closed problems for these assessments.

To try to deal with these problems, this work, of a theoretical nature, has the following objectives:

- Advocate for a Particle Physics Teaching in a *curriculum based on engagement*.
- Identify Feynman Diagrams as models of Particle Physics from the pragmatic approach of the Philosophy of Science, for the teaching *of* and *about* Particle Physics.
- From this perspective, we discuss proposals that have already abandoned the “Laundry List” approach.

In the remainder of this section we will justify why, given the problems mentioned above, we want to achieve the first two objectives.

First, it is important to briefly discuss the assumption that we should be concerned with the scientific knowledge to be taught, especially if we take into account Sonia Salem’s (2012) thesis, which points to a movement where specific knowledge becomes implicit or absent in the second half of the 2000s in research in the area of teaching physics in Brazil (SALEM, 2012, p. 287). As the motivations for teaching models in Science Education (SE) sometimes start from the objective of teaching *about* science, this approach *a priori* does not presuppose major commitments to the knowledge of science. This greater commitment to knowledge *about* science at the expense of knowledge *about* science appears explicitly in works in the survey by Coll, France and Taylor (2005, p. 191-192), and implicitly in proposals that aim to teach about science through knowledge atypical in the science canon, such as Adúriz-Bravo’s (2014) proposal to use narratives.

In our view, the identification and privilege of explaining the scientific models of PP during its teaching should not make the specific knowledge of this discipline secondary. On the contrary, this movement is about valuing this knowledge, explaining its epistemological dimension. Gilbert (2004) points out that the use of models is a way to guarantee a more authentic SE. We agree with this statement, since genuine science learning is achieved by learning the concepts *of* science and *about* science - and although models are not *enough*, they are *necessary* for that purpose.

Almost 30 years ago, Terrazzan (1992), in a brief text, presented how Modern and Contemporary Physics (MCP) should gain more space in teaching at the expense of classical physics, weaving arguments that keep premises similar to ours, namely: how knowledge of MCP can provide students with an updated understanding of the world (and consequent improvement in citizen participation) and also update the way of teaching, a necessity. These premises are also similar to the justifications that appear in the survey by Ostermann and Moreira (2000), among others such as: attracting young people to a scientific career, protection against pseudosciences, updated understanding of scientific practice, taking advantage of students' enthusiasm when learning knowledge of MCP and increase your understanding of the world in terms of technology. In the approach that we will propose, some of these premises will not be the focus, as our approach does not open up as much space as justifications for the teaching of PP, for those who defend the attraction to the scientific career or the enthusiasm of students. Not that they have no value at all - they do, from a pedagogical point of view.

We understand that PP knowledge is immersed within a discipline, understanding that disciplinary knowledge is historically developed, whose field of action has epistemological, ontological and axiological commitments (PIETROCOLA, 2019, p. 42). In Curriculum Theory, Young (2010) presents what he calls "curriculum based on engagement", as opposed to the traditional concept that would be "curriculum based on compliance", although both start from knowledge to elaborate the curriculum. We agree with the author that the curriculum corresponds to the knowledge that must be available to all students, not as facts to be memorized, but explicit its epistemological dimension. In this sense, the curriculum has its own purpose: the intellectual development of students, which is based on concepts and not on content or skills. Because concepts are always about something, they imply some content and not others. (YOUNG, 2010, p. 25). These concepts are developed within communities of researchers (YOUNG, 2010, p. 25), in our case, within the discipline of Physics. These concepts allow for reliable generalizations and are related to each other (YOUNG, 2010, p. 26). Sometimes, these concepts have a referent outside the school, as in our case (although it is not a referent of the student's life): the FD can be used to analyze the primary cosmic ray that interacts with particles in the atmosphere. Young (2010) cites other examples, such as electrons and atoms. These concepts allow the student to treat the world as an "object of knowledge" and not



as a “place of experience” (YOUNG, 2011, p. 25), enabling a greater understanding of the world, based on “powerful knowledge” (YOUNG, 2010, p. 29). In this work, the central concept is the FD, which is related to the concept of particle interaction, symmetry and conservation. The FD is the most popular manifestation of the concept of interaction, considering scientific practice.

Once the commitment to knowledge is established, pedagogical and institutional actions can eventually contribute to the resolution of social problems, although the problem that the school must be burdened with facing is educational inequality. It is not, for example, the school’s task to end hunger, although school meals play an important role, especially in poorer regions. This also establishes a clear commitment for the scientific education research community who agree with these assumptions and seek to carry out interventions: the knowledge to be taught plays an important role (although, we emphasize, it is not the only concern). This contributes to the reduction of educational inequality at the national level (especially in works with public schools) and also at the international level (especially for developing countries).

Given the complexity of PP knowledge (manifested, for example, by the *didactical-epistemological obstacles* mentioned), in order for its teaching in the classroom to become viable, it is necessary to carry out the *transposition* of this knowledge. From the perspective of the work, the challenge is to approximate as much as possible the scientific models to be taught to the episteme of the scientific models of the scientific community.

Despite this, the diversity of meta-scientific disciplines indicates that making the epistemological dimension explicit is a challenge. More specifically, this problem lies in answering: *what* of the epistemological dimension of the FD do we want to explain to engage students in this way of taking the world as an object of knowledge? We can find answers to this question through the large area of research in Science Education named **Nature of Science** (NoS). In different literatures it is possible to find the statement that the definition of what is NoS is not consensual. Moura (2014, p. 37) in his survey suggests the following answer (although he recognizes that it is limited): “studying the nature of Science means understanding how man builds scientific knowledge in each context and at each time, based on their philosophical, ideological and methodological conceptions”.

Research carried out in NoS, being a longstanding research area, spreads out in different purposes, such as: **Why teach**, **What to teach**, **How to teach** and **Instruments** to assess the NdC conceptions of students and teachers. Lederman (2007) did a great job of reviewing the different researches in the area so far.

In a dimension of **Why teach**, Lederman (2007), in his assessment of the area, points out that NoS is an important component for Scientific Literacy. Driver et al. (1996) establishes five lines of argument (Economic, Utilitarian, Democratic, Cultural and Moral). Different arguments from these lines of argument and different authors suggest that learning NoS would be associated with improved citizenship. In this context, Hodson (2018) seeks to deepen the discussion about which citizenship we are talking about, defending a curriculum that forms a radical scientific citizen (HODSON, 2018, p. 46).

As the discussion established here was based on knowledge of science, and not knowledge about science, we will not delve into the discussion about **Why teach NoS** in Science Education. We would just like to point out that, in agreement with Pereira and Gurgel (2020), it is a challenge of our time to avoid “naive positivism” and, at the same time, to avoid epistemic relativism. In this sense, the explanation of the epistemological dimension taking scientific knowledge from the approach of models in a pragmatic perspective is our bet. On the other hand, as the NoS, in a way, will be present in our proposal, it is natural that some NoS objectives are fulfilled - except those objectives that have a well-specified final result, as in the case of Hodson (2018).

In the dimension of **What to Teach**, converging with Irzik and Nola (2011, p. 593), we conceive that the separation of Scientific Inquiry (SI) from NoS, as proposed by Lederman (2007; 2018), is merely artificial, since the elements that make up the investigation are themselves elements of the NoS and the SI is an important part of understanding the epistemological characteristics suggested by the authors of the “Consensual View”, who describe these characteristics of science organized into items (*tenets*), through a few lines (KIMBALL, 1967) or a paragraph (LEDERMAN, 2007). In this sense, we see models as an important part of NoS teaching, something that is not really new in the literature in this area (IRZIK; NOLA, 2011; DUSCHL; GRANDY, 2013; SANTOS; MAIA; JUSTI, 2020; MARTINS, 2015).



Ariza, Lorenzano and Adúriz-Bravo (2016) point out that advances in the Philosophy of Science have been excluded from didactic proposals, although a portion of researchers adhere to the model approach - more specifically, the semantic approach. In this work, the authors present four approaches to the semantic family: Ronald Giere, Bas Van Fraassen, Frederick Suppe and meta-theoretical structuralism. They also point out that there is an exaggerated simplification of the idea of models (among other meta-theoretical ideas) in the appropriations of the SE area and, therefore, they seek to present the main points of the semantic approaches, so that there is a more convergent appropriation of these meta-theoretical ideas with their use in meta-scientific disciplines. We agree with this diagnosis, but in this work we start not from the semantic approach, but from the pragmatic one, whose distinctions will be clarified in the next section.

In short, we defend a curriculum based on engagement, which implies making the epistemological dimension of the concepts explicit, while these concepts play a central role. One way to explain the epistemological dimension is using the concept of models - more specifically, taking the FDs as models. This is a movement contrary to the “Laundry List”. Models play a prominent role in NoS, especially when we consider the investigation and nature of the knowledge produced.

On the other hand, the most secure knowledge is located within disciplines. In this way, the most secure knowledge *about* science is located within the meta-scientific disciplines. Therefore, to find a better characterization of models, we must turn to the Philosophy of Science. What in this characterization will be useful for the classroom is a second move to be made? We chose the pragmatic approach of models because we believe that it better explains the problems of the received view of Particle Physics teaching, that is, the low correlation between the role of FD in the classroom and in scientific practice.

Scientific Models and Feynman Diagrams

Despite some spark of interest in its early days from greats like Ernest Nagel and Norman Campbell, the professional philosophy of science turned to the role of models in scientific inquiry as recently as the second half of the 20th century. This movement was associated with a paradigm shift on the conception of scientific theory, from the syntactic (which composed the so-called Received Vision of the

Philosophy of Science) to the semantic¹ (VAN FRAASSEN, 1991, p. 1-17). While in the first they are understood as a set of axioms from which true deductions are syntactically drawn using the methods of logic, in the second they are understood as semantic models of some predefined logical structure. In this second conception, the meaning attributed to the theory's terms and predicates are as essential to assess the validity of its conclusions as the logic syntax in which a theory is written.

However, the adoption of the term “model” of logic ends up causing, ironically, a semantic confusion with the traditional use of the term “model” by scientists, the latter referring to a set of objects that serve as auxiliary tools in an investigation, in which is usually involved some abstraction or idealization, together with experiments and theories, but without being reduced to either. The philosopher of science Luís Henrique de Araújo Dutra studied in his book *Pragmática de Modelos* the role of these objects in science, emphasizing the autonomy of this meaning of model in relation to that which somehow dominates the philosophy of contemporary science, the semantic, distinguishing the former by the epithet “scientific”².

Scientific models would then be classified as *nomic*, the way Nagel and Campbell understood them, when they encode some nomological statement. This law, expressed in a complete or approximate way in some *model system*, is then abstracted from the contingent characteristics of the model system and used in further investigations, carried out in systems now called *modeled*, as a first approximation of their behavior, as a test of the theory, such as a simulation, etc. An example from Physics for this type of model is Ohm's Law, which linearly relates the electric current with a potential difference in a circuit, essentially the same as Poiseuille's Law, which linearly relates the volume of fluid that passes through a certain cross section given a pressure difference (DUTRA, 2013, p. 93-94). There is no absolute sense in which a system is model or modeled. In the case cited, therefore, there is no essential difference between saying that the electrical circuit is modeled by a pipe or that a pipe is modeled by an electrical circuit³.

A type of scientific model close to the nomic one, but broader, is the mathematical one. We understand this type of modeling as the one behind a good part of the natural sciences - in particular Physics - and some human sciences, in which certain characteristics and relationships of the concrete world correspond to certain mathematical entities and relationships which they can, making use of its intrinsic properties, inform previously unsuspected properties, relationships and behaviors of



the concrete world. In this type of relationship between model and modeled, there is a certain asymmetry, with the properties of the model system being a much more important source of information about the modeled system than the model system.

The importance of this type of asymmetries was highlighted by the philosopher Mary Hesse, giving the ideal gas as an example of a model (DUTRA, 2013, p. 51-52). In this model, we compare the particles of a gas to billiard balls. We do this by assuming that these two classes of objects have a series of properties in common, which we summarize here as those that characterize a Newtonian material point, which allow this approximation. Hesse will call this the model's *positive analogy*. There are a number of other features that we do not know if they are common to both systems, it is the *neutral* aspect of the analogy, and it is in this field that the model can provide knowledge about the model, through experimental testing and simulation. There is also the *negative analogy*, the senses in which systems are dissimilar. It is in the delimitation of these analogies that the asymmetry between the two systems is found, of an epistemological nature, as there is, in scientific *practice*, a clear sense in which one system is a model and the other is modeled: it is when you know more about a system than on the other. It is precisely by making use of a better known, model system, and its positive analogies with a lesser known, modeled system, that the modeling activity is undertaken, in order to test the field of possibilities of neutral analogies.

This approach of identifying and understanding the nature of elements of science, in this case scientific models, based on their uses and their dynamics in scientific practice is called *pragmatics* in the philosophy of science and it is this approach that interests us in this work.

We will now mention two important pragmatic understandings of the scientific model. The first is Nancy Cartwright's concept of the *nomological machine* (DUTRA, 2013, p 130-159; CARTWRIGHT, 1999, p. 49-75). Nomological machines would be concrete systems designed in such a way that they exhibit behavior directly expressed by a scientific law⁴, without the confusion of cross-effects and multiple causes of most more realistic systems. A nomological machine *project* would be the abstract system corresponding to the nomological machine, which is a scientific model. An example of Applied Physics of a nomological machine is the *laser*, whose design of a corresponding nomological machine would be, among many possible ones, the simplified three-level model present in many textbooks (EISBERG; RESNICK,

1985, p. 397; CARTWRIGHT, 1983, p. 148). For Cartwright, scientific practice would be centered around these systems, which, expressly designed to fit the concepts and laws of theory, would be used to test them, develop applications, plan experiments, compute simulations and, most importantly, enable knowledge about systems that, in principle, would not be reached by theory.

Dutra (2013) argues that, precisely because nomological machines have these characteristics, they would be as models as their projects, even if they are concrete models, in this case. This connects the conception of the nomological machine with the second understanding that we would like to highlight, that of models as mediators between theory, experiment and the concrete world, elaborated by philosophers Margaret Morrison and Mary Morgan (MaM).

Central to this conception is that scientific models are autonomous entities in relation to the concrete domain (which one wants to study) and to that of theory. This autonomy grants to models, as they are, fundamentally, additional tools to theories in the repertoire of science, their capacity to represent the phenomena of the concrete world, transcending the limitations of theories. The notion of representation considered by the authors escapes the intuitive notion of physical (in the case of concrete models) or isomorphic (in the case of abstract models) “similarity” with the concrete world, being closer to an *epistemic* sense: the representation offered by the model it consists of what can be learned about the aspect of the world shaped by it. Thus, the models would be *representatives* of the modeled systems.

As representation, in this conception, in an epistemic sense, it is in the analysis of the construction and application stage of the model that the knowledge achieved with it is understood, instead of an *in vacuo* analysis, which would be characteristic of the semantic conception of representation.

A characteristic example of the authors’ model conception is the Prandtl water tunnel, used to understand the nature of the interaction of a fluid with a solid object (MORRISON; MORGAN, 1999, p. 26-27). This model allowed Prandtl to visually identify two regions of fluid flow over an object disposed in the tunnel. The use of this concrete model taught Prandtl a knowledge which he then took as the basis for an abstract, mathematical modelling.

It is observed that the water tunnel functions as a representative of more realistic situations of fluid-solid interaction as it leads to valid knowledge about the modeled situation. This knowledge was obtained because experimental, theoretical



and external elements were used to build the model, and because their construction and manipulation informed the use of theory in dealing with the problem. Similar examples can be found in the manufacture of lenses, in the study of nuclear stability and in laser experiments (MORRISON; MORGAN, 1999, p. 23-25).

Next, we will briefly introduce Feynman diagrams, highlighting the elements that will help explain them as models in the sense of MaM.

The diagrams were first introduced in Physics at the Pocono meeting in 1948, in the context of the “infinite problem” of Quantum Electrodynamics (QED), consisting essentially of divergences that appeared in the calculation of the change in electron energy in a process of scattering (ie, perturbative) between two electrons. Complicated *renormalization* processes, in which divergences are ingeniously assimilated into the calculation by changing the mass and energy values of interacting electrons, were developed by Julian Schwinger and Sin-Itiro Tomonaga⁵, but were little disseminated beyond interacting groups direct with its authors, even Pocono.

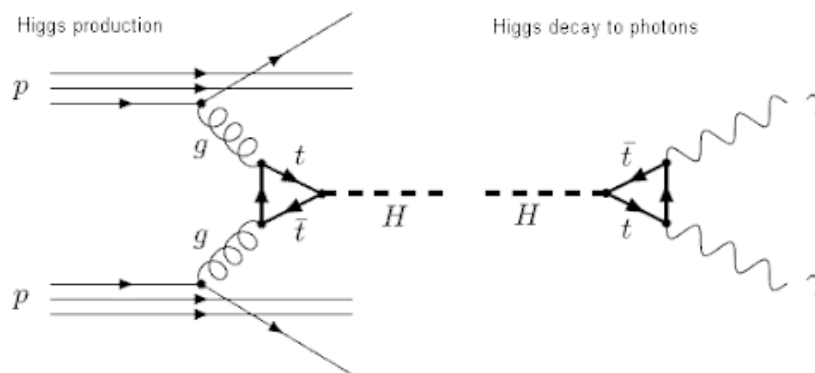
At this meeting, Feynman introduced with the first diagram, of an electron-electron scattering, an ingenious iconographic way of “taking note” of all elements of the scattering matrix (S-Matrix) with an important contribution to the calculation of the energies involved using the renormalization procedure. After the meeting, it was studied, developed and disseminated by Freeman Dyson, and the method of calculation of perturbations using Feynman diagrams spread beyond the limits of QED and even Particle Physics, being used in other quantum field theories, such as Meson Theory, Quantum Chromodynamics, and in other disciplines, such as Condensed Matter Physics. This success was partly attributed to the diagrams being related to a certain tradition of iconographic representation in Physics that dates back to the introduction of Minkowski spacetime diagrams, decades earlier, and to the similarity with trajectories in cloud chambers (KAISER, 2005).

Despite being essentially an instrument for calculating the S-Matrix, and only the inner product of the series has physical meaning⁶, Feynman Diagrams (FD) since their introduction are appropriate as an iconic representation of the processes they represent in the language of a essentially non-iconic physical theory, Quantum Mechanics (QM), in which we should not speak fundamentally about particle trajectories. In the next session, we will, with Passon, Zügge and Grebe-Ellis (2018), present examples of how this conception of FDs permeates the uses of this resource in the teaching of PP. For now, we will present Stöltzner’s (2017) reading of FDs as mediators (MaM).

The first characteristic of a model as a mediator served by the FD is its *autonomy*, as the reference in the previous paragraphs to its use in theories and disciplines quite different for which it was conceived (QED). The FD also serve as *representatives* in the sense of MaM: in an electron-electron scattering, for example, the corresponding FD can be taken as a representative of the entire infinite series contained in the S-Matrix⁷, as well as each “branch” (each drawn line of the diagram) can be taken as representing a term different from the perturbative calculus.

We can also draw a FD with only the branches that we consider most important in a certain process and take it as representative of the entire process, as is the case of the Higgs boson production guide given by gluon fusion (Figure 1), which helps to explain the obtainment of the particle, as well as to guide the experimental search for it. This procedure, then, involves a reordering of the series aiming at an explanatory and predictive objective, and so it is modeling in the sense of MaM⁸.

Figure 1: The Feynman diagram representing the Higgs boson production guide.



Available in: <<http://lppp.lanls.ac.uk/higgs/en-GB/higgs.html?LPPPSession=1567036800030>>

In a similar context, but now in the domain of spectroscopy, we can only draw the FD branches (or tabulate the perturbative calculation orders) corresponding to the terms counted in light of the accuracy of the measurement performed, for example, the Lamb Deviation of the spectral lines of Hydrogen. This example illustrates the role of simulation and design of experiments that models, from a MaM perspective, would promote.

In this brief exposition, we see how the FDs, due to their flexibility and usefulness for the most diverse objectives of scientific practice, fit, in the understanding of the

pragmatic aspect of the philosophy of science, as scientific models. In the next section, we assess how FDs are usually transposed into educational practice and how they appear in academic research in PP teaching, highlighting the senses in which our proposal, based on the educational and philosophical perspectives outlined in the article, departs from those.

Feynman Diagrams in Science Teaching Literature and Pedagogical Practice

Passon, Zügge and Grebe-Ellis (2018) surveyed the presence of PP in school curricula, generally occupying almost entirely the module reserved for Modern and Contemporary Physics, and in the science teaching literature. They realized that the alternative approaches to PP advocated by authors in the field of education who are opposed to the “Laundry List” include several conceptual and interpretive misconceptions, the two main ones being: the choice of an ontological interpretation of a quantum field theory (QFT) without “precautionary warning”, and the representational nature of Feynman Diagrams.

The most widespread ontological interpretation of QFT, that is, the most common answer to the question of which entities this theory refers to and describes, follows the “received view” in admitting that they are “elementary particles”, thus being a “corpuscular” interpretation (ALLDAY, 1997; FARMELO, 1992; JOHANSSON; WATKINS, 2013)⁹. One of the problems with this approach is that it fails to explain the impossibility of locating these entities and their interactions in terms of the theory (assigning position eigenfunctions/eigenstates).

Authors who defend a “wave” interpretation of the QFT (DANIEL, 2006; HOBSON, 2005; 2013) attribute reality to one or more of a kind of “universal” field filling the Universe, capable of being “excited”, and whose “excitations” would play an important role in the interactions measured in the experiments and in the theoretical description of these interactions. The main problem surrounding this approach follows from the theoretical element of a QFT that assumes the role of “field” of a classical theory, being QM operators, entities that have interdependent existence of the vector state/wavefunction. Thus, answering “the field” to the question “which entity does QFT refer to?” requires a second question: “which entity does the field apply to?”.

FDs, in turn, usually appear when the temptation to use traditional (classical) physics teaching tools, such as visualizations and mental images, outweighs the authors' caution, in particular because there is another temptation in physics teaching: to avoid mathematics (WOITHE; WIENER; VAN DER VEKEN, 2017). There are authors who reproduce the most naive view of FDs, that they are visual representations of spatiotemporal events, or that they represent physical processes occurring "in reality" (JONES, 2002; KONTOKOSTAS; KALKANIS, 2013)¹⁰, but there are also authors who, in an attempt to reconcile the didactic use of FDs with the minimum of technical discussion of their nature, confuse interpretations, in addition to making conceptual errors, and reach wrong conclusions (ALLDAY, 1997; ORGANTINI, 2011).

Allday (1997) seeks to discuss the "nature of force in particle physics". The author fills the discussion with his experiences in teacher education and with students, exemplifying these concepts mainly through analogies. Among the analogies, when discussing attraction and repulsion, the author compares the various terms of the series represented in the branches of a FD to the various simultaneous motions that a material point can develop in Mechanics. This interpretation of the FD, however, in addition to going against the author's mostly corpuscular interpretation (similar to what the waveform interpretation of the QM would say about a double slit experiment), is conceptually wrong, because it ignores that the inner product of the series is taken (the processes have to "interfere" with each other, as in QM).

Além disso, Allday (1997) apresenta majoritariamente características gerais dos FD, e pouco diz sobre os usos desses dispositivos na prática científica. Organtini (2011) usa o argumento do sucesso preditivo para defender a realidade dos processos descritos pelos FD. Esse argumento, entretanto, só tem valor no contexto do debate, interno à disciplina de Filosofia da Ciência, acerca da realidade de entidades inobserváveis em teorias, o que não é o caso dos FD.

Dunne (2001, p. 368) points out: "The purpose of this article is an attempt to persuade the teaching community to become aware of the rules for constructing diagrams and adopt a consistent approach to the representation of particle reactions". The author's argumentative construction suggests that the FDs would be representations of the interactions between particles, also pointing out that: "Description of the interactions in words or equations makes the subject seem very complicated and difficult to follow. The use of Feynman diagrams makes it much easier to categorize and visualize what is going on" (p. 370).



As for the meanings of representation, the author takes care to point out that the vertices do not represent the space-time trajectories of the particles. The article is full of different FDs, serving as examples for the author to explain the rules for its construction. At the end of the article, the author clarifies that this is a movement to show the FD more as a “formal tool” rather than an “informal illustration”. In the light of our discussion, this work values the FD more in terms of “skill” (learn correctly the rules for preparing the FD). The author provides little clarification on what is being represented in the FD, and in some excerpts (such as the one mentioned above), his article can lead to a conceptual misunderstanding. Taking the notion of representative that we are appropriating, from the pragmatics of models, the FD is representative of the entire infinite series contained in the S-Matrix. In terms of scientific practice, FDs are closely linked to mathematization: closer to a system of equations than to a free-body diagram.

Although we take the sense of representation in a less restricted way, with a sense close to natural language, the use of the visual representation proposed from the FD can be explored as a pedagogical resource, but without ignoring its epistemic representation (as a *representative*, in the sense of MaM). Otherwise, the concept suffers great mischaracterization.

The use of visual representation as a pedagogical resource appears more intensely in Pascolini and Pietroni (2002). The authors, seeking to avoid the conceptual problems that arise when images of the macroscopic world are imposed on the microscopic world, state that: “Instead, we decided to explore those images that are generated by the mathematics of quantum field theory, that is Feynman diagrams, which we thought could play the role of accurate metaphors” (p. 325).

With this, the authors suggest that students can learn several concepts, such as: “[...] as the relation between matter and antimatter, the indistinguishability of identical particles, the existence of virtual particles and their role as mediators of interactions, and so on” (PASCOLINI; PIETRONI, 2002, p. 325).

Thus, the FD concept ends up being a means to study other concepts. They report an activity taught to students, which consists in the construction of mechanical models of the FD, using materials such as cans and rods (PASCOLINI; PIETRONI, 2002, p. 326). Given the mechanical restrictions, it is not possible to “assemble” a FD that violates conservation laws. Although, in principle, this raises doubts whether the students are actually understanding these other concepts (such as

conservation) or whether they are actually just doing manual work - the latter being an interpretation that is corroborated by the authors' own report, in which students tried by different means to build a FD that was impossible and only a few noticed that it was impossible -, the authors indicate that the use of this activity improved students' performance when dealing with issues involving the FD without this mechanical system, especially for issues involving FD that were impossible.

It is not clear what is effectively discussed with students about Feynman Diagrams, although the authors mention that they carry out an introduction to the phenomena described by QED (PASCOLINI; PIETRONI, 2002, p. 327). Again, the use of imagery and mechanical resources as pedagogical instruments is not, *a priori*, configured as a problem, but they become as their limitations are not explained. On the other hand, taking the FDs as models, they have a specific purpose in scientific investigation - which, for the most part, is not what the authors are proposing. This is an aspect that could be explained in the proposal, but it was not, because the authors do not see this concept in that way.

Two other interesting works, which are correlated, are Hoekzema et al. (2005) and Van der Berg and Hoekzema (2006). In the first work, Hoekzema et al. (2005) presents a part of the MCP teaching project - more specifically the text for students on transformation, reaction equation, conservation laws and symmetry. The laws of conservation and symmetry, which are the focus of Van der Berg and Hoekzema (2006), are taught using *reaction diagrams* (an expression used in the text for students) or *simplified Feynman diagrams* (VAN DER BERG; HOEKZEMA, p. 48, 2006). According to Hoekzema et al. (2005, p. 266), the preference for using simplified Feynman diagrams (which are used only to describe and predict reactions, without inferring the probability of reactions or examining more deeply the nature of interactions) was due to previous experience with the FD, which was not successful.

The authors point out that the *reaction diagrams* were well received by the teachers, being much more 'understandable', and the authors suspect that the teachers find it so easy that they 'go fast', with few exercises (HOEKZEMA, 2005, p. 271). In the student text, reaction diagrams appear as a way of 'visualizing reactions', where the main focus is on how conservation laws are manifested and enable operations to be carried out. This relationship with knowledge is more explicit in the article by Van der Berg and Hoekzema (2006). In this article, the authors report the use of a fast feedback method, which consists of a teaching method in



which the teacher gives a series of short tasks to be performed individually, but collectively (VAN DER BERG; HOEKZEMA, 2006, p. 49). Contrasting this project with our work, different points can be discussed. First, that the relationship that the authors weave with the FD is analogous to that of Pascolini and Pietroni (2002): the FD are a means to understand some other concept. As we have already said, taking the FD as models, what should be highlighted changes. A second point, although the papers are teaching concepts, the teaching of concepts is more based on a 'curriculum based on compliance' than an 'curriculum based on engagement'. This is because the epistemological basis of these concepts is not made explicit. The relationship established with the concepts is operational (which is not, *a priori*, a problem), but only operational.

Third, using *reaction diagrams* instead of FD is an artificial separation. It has the good intention of making didactic practice simpler and at the same time not explicitly talking about FD, as FD is another concept that will be studied at the university. In addition to being debatable whether the class will effectively pursue a scientific career, using *reaction diagrams*, there remains a conceptual gap in the FD that will be filled by the spontaneous conceptions of the students themselves.

Conclusion

We see how, although many authors in the field of Science Education agree that PP teaching is seriously flawed given the dissemination of the "received view" of the Standard Model and the "Laundry List", there is no consensus on how to transpose these contents. Amidst this dissent, there are even proposals that include conceptual mistakes, like most of those that appropriate the FD, since they lend themselves, in an interpretation that ignores their use in scientific practice, to be taken as resources pedagogical aspects that adapt to deeply ingrained characteristics of the broader school culture, and of the specific teaching of physics, mostly classical physics (GURGEL; PIETROCOLA, 2017): the emphasis on images, intuitions and little mathematization, or a mathematization that reduces to a mere "formulism", a famous term coined by Zanetic (1989).

We conclude that if PP is to figure in the basic school curriculum, this knowledge needs to suffer as little distortion as possible, and therefore, it is necessary that teachers are trained with a transposed version of this knowledge that better reflects

the practices that it structures, and the episteme that, in turn, structures it. In other words, knowledge of MCP will only enter primary school if teacher training promotes autonomy in relation to this knowledge, and we bet that this autonomy will only be achieved through teaching that converges with scientific practice. This aspect is crucial for teachers' sense of identity as members of a profession (YOUNG, 2010, p. 27).

In our outline of a pedagogical proposal for the teaching of PP, we therefore delve into the specific epistemological characteristics of this discipline and its practice and do not consider open problems of interpretation of the theories involved as solved. Through this dive, we were able to identify elements of this knowledge that allow us to simultaneously value the nature of PP knowledge and the characteristic knowledge of the discipline, converging with our theoretical and axiological affiliations of Curriculum Theory and Scientific Education. As a result, we do not present ready-made formulas or a finished proposal, but we open the way so that future proposals following these guidelines do not run into old problems. We like to think that, rather than engaging with the “normal” problems of PP teaching, we are proposing a new perspective from which these problems are understood differently, and in which, therefore, new types of solutions are possible, opening a horizon yet to be scrutinized.

O ensino de Física e a prática da ciência: aproximando-os com filosofia de modelos científicos no caso da física de partículas

Resumo

Mundialmente, formuladores de políticas públicas, pesquisadores em educação científica, professores e alunos defendem o ensino de tópicos da Física Moderna e Contemporânea na educação básica. Dentre esses tópicos, investiga-se a potencial introdução da Física de Partículas no ensino médio. Dentre as justificativas encontradas há, em grande parte, uma valorização do conhecimento científico. Neste contexto, há quase duas décadas, surgiram diferentes propostas críticas com relação às abordagens do tipo “Lista de Compras”, que consiste em um ensino que se reduz a apresentar inúmeras partículas elementares. Recentemente, surgiram críticas a essas propostas, por considerá-las insuficientemente críticas do que se convencionou chamar a “concepção herdada” do Modelo Padrão. Neste trabalho, de natureza teórica, concordamos com essas críticas e propomos uma nova perspectiva para analisar essa questão, tomando como foco de análise um conceito específico: os Diagramas de Feynman. Para a construção da nossa



argumentação, propomos um currículo baseado em engajamento, que busca ensinar a ciência e sobre a ciência. A argumentação sobre a ciência é vinculada às pesquisas desenvolvidas na área de Natureza da Ciência. Posteriormente, identificamos os Diagramas de Feynman como modelos a partir da concepção pragmática da Filosofia da Ciência. Por fim, a partir dessa argumentação, analisamos algumas propostas de ensino que já superaram a “Lista de Compras” vinculadas aos Diagramas de Feynman, e as comparamos a nossa proposta.

Palavra-chave: Ensino de Física de Partículas, Diagramas de Feynman, Modelo, Currículo, Natureza da Ciência

Notas

- ¹ In this brief history, we are restricting ourselves to the philosophy of science with an analytical tradition, centered on Anglophone countries, and derived from the works of Bertrand Russell, the first Wittgenstein and, later, David Lewis, in the beginning of the 20th century. Hence the centrality of this logical-linguistic reading of science.
- ² We appropriated more of the epistemological discussions in the book, leaving somewhat aside the meta-physical discussion about the existential status of models. Although, as we shall see, it can contribute to the discussion about the existence of entities dealt with in Particle Physics, which is relevant for its teaching, we avoided it in the present work, leaving it for the future.
- ³ The analysis is therefore intended to be valid whatever the scientist's perspective. Thus, it is useful both for a Physics student who learns Fluid Mechanics after Electromagnetism and for a student of the History of Physics, for whom the sense of model and modeled will be reversed.
- ⁴ In Cartwright's (1999) preference, we would say the *capacities* of the natural world (and equally of the social and economic in the human sciences), a notion that evokes the Aristotelian *powers*.
- ⁵ For historical details of the introduction of renormalization methods in Quantum Electrodynamics, see Schweber, 1994.
- ⁶ It is a situation analogous to a double-slit experiment. Although the measurable results can be explained using wave interference (the numerous elements of the perturbative calculation in scattering), the measurable results are given by the internal product of the superposition (of the series). Another analogy, this one due to the philosopher of physics Michael Redhead (1988), is with Fourier's analysis of the note emitted by a violin. Would it make sense to talk about the existence of the countless harmonics that make up the note?
- ⁷ Even if, in abstract, we take a FD composed of infinite branches that represent, in “maximum isomorphism”, the S-Matrix, its convergence is not always well defined. Thus, this object would still have an idealization character and an investigative pragmatic role, according to the general characterization we made of the scientific model.
- ⁸ Mathematically, reordering the terms of a series, separating it into different subseries, is only justified if it absolutely converges. If this is not proven in the case considered, we can consider the application of the procedure yet another level of modeling.
- ⁹ It is common, in the aforementioned literature, for authors to make passing references to the existence of a field and the relationship of particles with the field, but without delving into the discussion and always giving preference to the term “particle”.
- ¹⁰ Taking a teaching in historical progression of Classical Physics, QM and QFT, this approach would already promote a “devolution” of the teaching of Physics, by the teaching of QFT, to a stage prior to one of the educational goals of teaching QM: in MCP, we don't describe the motions of material points in space-time.

Referências

- ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. Teaching the Nature of Science with Scientific Narratives. **Interchange**, v. 45, n. 3-4, p. 167-184. nov. 2014
- ALLDAY, Jonathan. The nature of force in particle physics. **Physics Education**, v. 32, n. 5, p. 327-32. set. 1997.
- ARIZA, Yefrin; LORENZANO, Pablo; ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. Meta-Theoretical Contributions to the Constitution of a Model-Based Didactics of Sciences. **Science & Education**, v. 25, n. 7, p. 747-773. jul. 2016.
- VAN DER BERG, Eduard; HOEKZEMA, Dick. Teaching conservation laws, symmetries and elementary particles with fast feedback. **Physics Education**, v. 41, n. 1, p. 47-56. jan. 2006.
- CARTWRIGHT, Nancy. **How the Laws of Physics Lie**. Oxford University Press, 1983.
- CARTWRIGHT, Nancy. **The Dappled World: A Study of the Boundaries of Science**. Cambridge University Press, 1999.
- COLL, Richard. K., FRANCE, Bev; TAYLOR, Ian. The role of models/and analogies in science education: implications from research. **International Journal of Science Education**. v. 7, n. 2. p. 183-198. jan. 2005.
- DANIEL, Michael. Particles, Feynman Diagrams and all that. **Physics Education**, v. 41, p. 119-29. mar, 2006.
- DRIVER, Rosalind, LEACH, John, MILLAR, Robin; SCOTT, Phil. **Young people's images of science**. Buckingham, UK: Open University Press. 1996
- DUNNE, Peter. Looking for consistency in the construction and use of Feynman Diagrams. **Physics Education**, v. 36, n. 5, p. 366-37. set. 2001.
- DUSCHL, Richard. A.; GRANDY, Richard. Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science. **Science & Education**, v. 22, n. 9, p. 2109-2139. set. 2013.
- DUTRA, Luiz Henrique de A. **Pragmática de Modelos: natureza, estrutura e uso dos modelos científicos**. Edições Loyola, 2013.
- EISBERG, Robert.; RESNICK, Robert. **Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles**. John Wiley & Sons. 2nd edition. 1985
- FARMELO, Graham. Teaching particle physics in the open university's science foundation course. **Physics Education**, v. 27, p. 96-101. mar. 1992.
- GILBERT, John K. Models and Modelling: routes to more authentic science education. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 2, n. 2, p. 115-130. jun. 2004.
- HOBSON, Art. Electrons as field quanta: a better way to teach quantum physics in introductory general physics courses. **American Journal of Physics**, v. 73, p. 630-4. jul. 2005.
- HOBSON, Art. Teaching Elementary Particle Physics, part I. **The Physics Teacher** v.49, n.1 p. 12-15. jan. 2011
- HOBSON, Art There are no particles, there are only fields. **American Journal of Physics**, v. 81, p. 211-23. mar. 2013.



HODSON, Derek. Realçando o papel da ética e da política na educação científica: algumas considerações teóricas e práticas sobre questões sociocientíficas. In: CONRADO, D. M.; NUNES-NETO, N. **Questões sociocientíficas: fundamentos, propostas de ensino e perspectivas para ações sociopolíticas** [online]. Salvador: EDUFBA, 2018. p. 27-57

HOEKZEMA, Dick. et al. Conservation laws, Symmetries, and Elementary Particles. **The Physics Teacher**, v. 43, n. 5, p. 266-271. mai. 2005.

IRZIK, Gürol; NOLA, Robert. A family resemblance approach to the nature of science for science education. **Science & Education**, v. 20, n. 7-8, p. 591-607, ago. 2011.

JOHANSSON, K. E.; WATKINS, Peter M. Exploring the standard model of particles. **Physics Education**, v. 48, p. 105-14. 2013.

JONES, Goronwy Tudor. The uncertainty principle, virtual particles and real forces. **Physics Education**, v. 37, p. 223-233. mai. 2002

KAISER, David. **Drawing Theories Apart: The Dispersion of Feynman Diagrams in Postwar Physics**. University of Chicago Press, 2005.

KAISER, David. Stick-Figure Realism: Conventions, Reification and the Persistence of Feynman Diagrams, 1948-1964. **Representations**, n. 70, p. 49-86. 2000.

KIMBALL, Mekritt E. Understanding the Nature of Science: A Comparison of Scientists and Science Teachers. **Journal of Research in Science Teaching**. v. 5, p. 110-120. jun. 1967

KONTOKOSTAS, George; KALKANIS, George. Teaching electron-positron-photon interaction with hands-on Feynman diagrams. **The Physics Teacher**, v. 51, p. 232-3. mar. 2013.

LANCASTER, University. **Higgs**. Disponível em: <http://lppp.lancs.ac.uk/higgs/en-GB/higgs.html?LPPPSession=1567036800030> Acesso em: 03jun.2021

LEDERMAN, Norman G. Nature of Science: Past, Present, and Future. In: ABELL, S. K. LEDERMAN, N. G. (Eds). **Research on Science Education**,. Routledge, New York, USA. 2007. p. 831-879

LERDERMAN, Norman G. La siempre cambiante contextualización de la naturaleza de la ciencia: documentos recientes sobre la reforma de la educación científica en los Estados Unidos y su impacto en el logro de la alfabetización científica. **Enseñanza de las ciencias**, v. 36, n. 2, p. 5-22, jun. 2018.

MARTINS, André Ferrer P. Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em “temas” e “questões”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 703-737, dez. 2015.

MORRISON, Margaret & MORGAN, Mary. **Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science**. Cambridge University Press. 1999.

MOURA, Breno A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

ORGANTINI, Giovanni. Matter and Interactions: a particle physics perspective. **Physics Education**, v. 44, p. 544-50. set. 2011.

OSTERMANN, Fernanda. **IPPOG-Brasil Live Stream**. 2020. (2h04m14s) Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=YxNSKFMLwc8>>. Acesso em 16 de março de 2021.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antônio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigação em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 23-48. 2000.

PASCOLINI, Alessandro; PIETRONI, Massimo. Feynman diagrams as metaphors: borrowing the particle physicist’s imagery for science communication purposes. **Physics Education**, v. 37, p. 324-8. jul. 2002.

PASSON, Oliver; ZÜGGE, Thomas, GREBE-ELLIS, Johannes. Pitfalls in the teaching of elementary particle physics. **Physics Education**. v. 54, p. 1-17. nov. 2018.

PEREIRA, Alexsandro P.; OSTERMANN, Fernanda. Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3 p. 393-420. 2009.

PEREIRA, Felipe Prado Corrêa; GURGEL, Ivã. O ensino da Natureza da Ciência como forma de resistência aos movimentos Anticiência: o realismo estrutural como contraponto ao relativismo epistêmico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1278-1319. dez. 2020.

PIETROCOLA, Maurício. **Inovação Curricular e Gerenciamento de Riscos Didático-Pedagógicos**: o ensino de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea na escola média. FEUSP, São Paulo. 2010 Oct.

PIETROCOLA, Maurício. Uma crítica epistemológica sobre as bases do currículo: a interdisciplinaridade como um saber de segunda ordem. **Educação, Sociedade e Culturas**. v. 55, p. 31-51. dez. 2019.

PIETROCOLA, Maurício; GURGEL, Ivã (Eds). **Crossing the Border of the Traditional Science Curriculum**: Innovative Teaching and Learning in Basic Science Education. Sense Publishers, Netherlands. 2017.

REDHEAD, Michael. A Philosopher Looks at Quantum Field Theory. In: **Philosophical Foundations of Quantum Field Theory**. Ed. H. R. Brown & R. Harré. Oxford: Clarendon Press. 1988. p. 9-23.

SALEM, Sônia. **Perfil, evolução e perspectivas da pesquisa em ensino de Física no Brasil**. 2012. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências. Universidade de São Paulo, Instituto de Física/Faculdade de Educação, São Paulo, 2012.

SANTOS, Monique; MAIA, Poliana; JUSTI, Rosária. Um Modelo de Ciências para Fundamentar a Introdução de Aspectos de Natureza da Ciência em Contexto de Ensino e para Analisar tais Contextos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 581-616, jul. 2020

SCHWEBER, Silvan S. **QED and the Men Who Made It**: Dyson, Feynman, Schwinger and Tomonaga. Princeton University Press. 1994.

STÖLTZNER, Michael. Feynman Diagrams as Models. **Springer Science+Business Media New York**, v. 39, n. 2. 2017.

TERRAZZAN, Eduardo A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, p. 209-214. jan. 1992.

VAN FRAASSEN, Bas C. **Quantum Mechanics**: an empiricist view. Clarendon Press, Oxford. 1991



The teaching of physics and the practice of science: bridging them with the philosophy of scientific models in the...

WOITHE, Julia; WIENER, Gerfried; VAN DER VEKEN, Frederik F. Let us have coffee with the Standard Model of particle physics! **Physics Education**, v. 52, 034001. mar. 2017.

YOUNG, Michael F. D. The future of education in a knowledge society: The radical case for a subject-based curriculum. **Journal of the Pacific Circle Consortium for Education**, v. 22, n. 1. dez. 2010.

ZANETIC, João. **Física Também é Cultura**. 1989. Tese (Doutorado em Educação) - Programa de Pós-Graduação em Educação. Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, São Paulo, 1989.



A invisibilidade das mulheres na Física: um recorte nos últimos 12 anos na produção de eventos e revistas de alto impacto

Camila Andrade Pandini*, Roberta Chiesa Bartelmebs**, Maria Milena Figueira Tegon***

Resumo

A participação das mulheres nas carreiras científicas, tem sido um tema muito recorrente nos estudos atuais. Pesquisas têm mostrado que em determinadas áreas, a participação feminina tem aumentado e até ultrapassado homens, mas isso não se aplica ao caso da Física. Um dos desafios para a maior representatividade de mulheres na carreira de Física, é causado por ser uma área considerada essencialmente masculina por muitos, o que resulta na desmotivação de meninas em seguir neste campo. Entendemos que uma das maneiras de mudar esta visão de mundo sobre as mulheres na Física, é a maior representatividade delas em revistas ou eventos científicos da área. O presente artigo faz uma revisão de modo a verificar se houve, nos últimos 12 anos, de 2008 a 2020, algum aumento desta representação. Para isso, selecionou-se cinco revistas e cinco eventos nacionais e internacionais de alto impacto. Os dados recolhidos revelam uma discrepância bastante alta na quantidade de publicação entre homens e mulheres. Portanto esse trabalho demonstra, que ainda há muito a ser feito na área da Física para que haja uma equidade na produção científica e na participação feminina nas publicações da área.

Palavras-chave: Mulheres; Física; Publicações.

* Graduanda do curso de Licenciatura em Ciências Exatas na habilitação de Física pela Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina. E-mail: camila.pandini@ufpr.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3227-0262>

** Doutora em Educação em Ciências e Matemática pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Docente do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Ensino de Matemática e Tecnologias Educativas. E-mail: roberta.bartelmebs@ufpr.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1057-6623>

*** Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Ensino de Matemática e Tecnologias Educativas na Universidade Federal do Paraná-Setor Palotina. Licenciada em Ciências Exatas com habilitação em Física. Email: milenategon@ufpr.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2463-8941>



Introdução

Por muito tempo a ciência foi considerada um conhecimento que só os homens poderiam compreender, sendo as mulheres tidas como incapazes. Ainda hoje vemos esses traços deixados pelo passado, como as mulheres sendo minoria na ciência, mesmo que em muitas áreas esteja ocorrendo um crescimento, há uma área em que este aumento está acontecendo de forma lenta em comparação às outras, sendo essa a área da Física.

De acordo com Bolzani (2017), em 2013, o governo dos Estados Unidos disponibilizou dados sobre as ocupações das mulheres na área de *Science, Technology, Engineering and Mathematics* (STEAM). De acordo com estes dados, as mulheres constituíam 46% da força de trabalho no país, apesar disso, apenas 27% delas ocupavam os postos em ciência e engenharia e 12% no segmento exclusivo de engenharia. No Brasil, em 2012, os dados revelam que nos cursos de graduação, considerando-se todas as carreiras, 57,1% das mulheres foram formadas em áreas onde a predominância feminina é marcante - como pedagogia, letras, ciências humanas (BOLZANI, 2017). Estes dados nos revelam que as mulheres conseguiram conquistar um espaço na sociedade, porém, este espaço ainda está voltado para as áreas tradicionalmente tida como femininas, voltadas ao cuidado e ao ensino.

Se fecharmos mais o leque da área das exatas a Física está entre um dos campos em que as mulheres menos aparecem historicamente, e quando aparecem estão sub-representadas, sendo esta uma das possíveis respostas do porque o crescimento das mulheres nessa área está caminhando tão lentamente (CORDEIRO, 2017). Assim, uma das maneiras de mudar este cenário é aumentar o número da participação das mulheres na Física, buscando representá-las, visto que várias jovens com grande potencial intelectual são desencorajadas ou sentem que não estão aptas à estudar Física.

Desse modo, este trabalho, fruto de uma pesquisa de trabalho de conclusão de curso realizado na Universidade Federal do Paraná, tem como objetivo constatar se nestes últimos 12 anos houve um crescimento na participação das mulheres na Física. Para tanto, realizamos um levantamento bibliográfico em cinco revistas de alto impacto e em cinco cadernos de resumos de eventos de impacto internacional na área da Física.

As mulheres cientistas: reflexões históricas e sociais

Ao olhar para o passado é possível notar que nas áreas que envolvem as Ciências, principalmente a de Exatas, há uma predominância masculina. Isso pode ser consequência das convenções sociais que até início do século XX consideravam que era inadequado para as mulheres ocupar uma posição de destaque profissional.

Tal situação chegou a ser justificada pela determinação biológica (ANDRADE, 2011). Muitas vezes são preconceitos que passam de geração em geração e se encontram enraizados em nossa cultura, condicionando o comportamento feminino e sua posição na sociedade. Durante muitos anos as mulheres foram impedidas de participar dos ambientes acadêmicos, e com muita dificuldade conseguiram ocupar espaço na Ciência, porém de forma desigual e sem o devido reconhecimento (ALMEIDA, 2017).

É facilmente visualizado que ainda vivemos em uma civilização com viés masculino. Um exemplo disso é a lista dos 100 nomes, *The One Hundred* (HART, 1996), uma lista das pessoas consideradas as mais significativas em termos de influências na história da humanidade. O resultado é uma lista com 98 nomes de homens e apenas duas mulheres, sendo estas duas rainhas: Isabel, a Católica (n. 65), e Elizabeth I (n. 94) (CHASSOT, 2004).

Os principais obstáculos que as mulheres enfrentam na Ciência estão relacionados às dificuldades em conciliar a carreira profissional com a vida pessoal. Outro ponto é a discriminação no ambiente de trabalho, ao isolamento profissional e a pequena representatividade de mulheres em todos os níveis de decisão. A esse respeito, Cartaxo (2012, p.17) complementa:

[...]. A questão é que os homens não são “cobrados ou responsabilizados” pela vida privada do lar, socialmente, e para muitos essa ainda é uma atividade de responsabilidade única e exclusivamente da mulher. O fato é que a sociedade mudou, as mulheres trabalham tanto quanto os homens, mas aos olhos da sociedade, a criação dos filhos e a organização da casa continuam sendo uma responsabilidade da mulher. De fato, a literatura especializada e as conversas com as mulheres físicas entrevistadas apontam que se as mulheres querem fazer ciência, precisam se comportar tal como um homem, ou escolher o que é mais importante para elas: a carreira ou a vida particular e familiar.

Além da pressão pela responsabilização da vida do lar, as mulheres, muitas vezes, estão sub-representadas na Ciência, especialmente na Física, refletindo a

visão estereotipada de um cientista, resultando na falta de um modelo em que as meninas e mulheres possam se espelhar. Para quebrar tais estereótipos é necessário resgatar as figuras femininas caídas no esquecimento e aquelas ocultas da história da Ciência, para que as novas gerações tenham a quem se refletir (MELO; RODRIGUES, 2013).

Uma das únicas mulheres cientistas que continua sendo citada nas aulas é Madame Marie Curie. Isso evidencia de uma maneira subliminar para as meninas, que apenas poucas mulheres são ditas inteligentes o suficiente para conseguir se dar bem nas Ciências. Assim, muitas vezes quando elas se mostram capazes, são ditas esforçadas, já quando os meninos têm aptidão para ciências, são inteligentes. Mesmo que se saiba que essa é uma falsa premissa, ainda hoje a situação é reforçada (CHASSOT, 2004; SCHIEBINGER, 2008; SILVA; SANTOS; HEERDT, 2017).

As imagens das mulheres nos materiais didáticos de ciências

Com relação ao contexto educacional, Martins e Hoffmann (2007) analisaram as imagens de livros didáticos de Ciências, do Ensino Fundamental. Os autores encontraram em seus resultados que 43% dos livros analisados, aparecem mulheres realizando alguma tarefa doméstica. 53% dos livros apresentam imagens de mulheres que são voltados à culinária e em 82% dos livros, as mulheres aparecem cuidando do marido e das crianças.

Nas imagens em que as mulheres aparecem em profissionais os resultados foram os seguintes: 45% são professoras, 25% enfermeiras e odontólogas e 14% em outros trabalhos. Nas imagens que aparecem os homens, 16% aparece cuidando de crianças, 5% ajudando em tarefas domésticas e 9% no preparo da alimentação.

Esses dados mostram que a ideia de que a mulher deve trabalhar com algo voltado ao cuidar é reforçado por imagens que as crianças vêem em sua educação. Em sua pesquisa, Ginity (2015) ao analisar as obras didáticas contempladas pelo Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2015, apresenta que as representações imagéticas dos livros ainda contribuem “[...] na composição de identidades que dão prosseguimento a determinadas visões de mundo, estimuladas pelos interesses de grupos culturais, socioeconômicos e políticos” (GINITY, 2015, p. 915).

A exclusão das mulheres do trabalho científico: metáforas para compreender um fenômeno antigo

A exclusão das mulheres na Ciência foi mapeada de forma “*horizontal ou territorial, que se refere à exclusão das mulheres do topo da carreira científica e a vertical ou hierárquica, que trata de áreas do conhecimento caracterizadas em femininas ou masculinas na ciência*” (LIMA, 2008). A exclusão vertical também é conhecida pelo fenômeno “Teto de Vidro”, metáfora para a invisibilidade das barreiras que impedem ou dificultam o progresso das mulheres na carreira (SILVA; RIBEIRO, 2014).

Outra metáfora importante é a do Efeito Matilda (ROSSITER, 1993). Segundo Benedito (2019), o efeito Matilda faz referência ao fato de que o trabalho de pesquisadoras mulheres não tem o mesmo reconhecimento do que o de seus colegas homens. Assim: “*De tão recorrente, o fenômeno ganhou nome: ‘efeito Matilda’, em uma referência à Matilda Joslyn Gage, ativista pelo sufrágio universal, abolicionista e pensadora americana*” (BENEDITO, 2019, p. 8).

Vasconcellos e Brisola (2009), iniciaram um levantamento sobre a minoria de estudantes e docentes do sexo feminino na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) em disciplinas consideradas “masculinas”, que incluem as ciências exatas e tecnológicas ou engenharias, identificando que não existe diferenças por sexo na capacidade de aprendizado e na dedicação dos alunos, segundo as autoras:

Há, no entanto, uma evidência clara nos dados, apontando para o fato de que homens e mulheres são igualmente capazes de seguir carreiras das ciências mais diversas. O maior fluxo de homens para ciências exatas e tecnológicas se deve a questões de fundo cultural e social e não às possíveis capacidades inatas diferenciadas por sexo. Além do condicionamento social, desempenham papel importante na escolha das carreiras as práticas ainda discriminatórias que afastam mulheres de profissões consideradas masculinas. O próprio ambiente de trabalho, nesses casos em que a presença feminina é consideravelmente reduzida, de certa forma, afasta a mulher e favorece atitudes sexistas (VASCONCELLOS; BRISOLLA, 2009, p. 249).

De acordo com Menezes (2017):

A Sociedade Brasileira de Física (SBF) possui 27% de mulheres filiadas e a Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) conta com 29% de mulheres. No entanto, o percentual de mulheres bolsistas é de apenas 11%, um terço do valor que corresponde à representatividade das mulheres nas áreas de Física e Astronomia (MENEZES, 2017, p. 342).

Essa situação persiste há mais de 15 anos. Embora não tenhamos ainda dados estritamente objetivos para tal situação, é possível inferir que ele está diretamente ligado ao fato de as pesquisadoras serem em menor número entre os Bolsistas Produtividade do Conselho de Pesquisa e Pós-Graduação (CNPq).

E por fim, um estudo elaborado por Nunes et al. (2020), demonstra que ainda é baixo o número de mulheres cientistas brasileiras que são reconhecidas pelos alunos e alunas da Educação Básica. Segundo os autores: “[...] tal fato pode acarretar no desinteresse das mulheres em ingressarem em carreiras científicas futuramente” (p. 86220).

Em uma palestra, Barbosa (2010), aponta que a Física necessita das mulheres, pois os problemas apresentados na Física do século XXI, são de um alto grau de complexidade e necessitam da colaboração de muitos profissionais de qualidade. Dessa forma, a Física precisa contar com 100% da população, para ter disponível as melhores mentes, o que significa dizer que tornar a Física da complexidade uma ciência exclusivamente masculina pode condenar a área a não ter a evolução que ela mereceria.

Entendemos que uma das formas de motivar meninas a seguirem carreira na Física seja a representatividade feminina na área, para tanto, desenvolveu-se esta pesquisa, com o intuito de revelar um panorama geral da participação de pesquisadoras em publicações de artigos em anais de eventos e revistas de alto impacto.

Metodologia

Este trabalho é uma pesquisa qualitativa de cunho bibliográfico. De acordo com Gibbs (2009), a pesquisa qualitativa busca investigar a maneira como as pessoas constroem o mundo a sua volta, além disso, os documentos e as interações são considerados como forma de estabelecer, de forma conjunta ou conflituosa, processos e artefatos sociais que podem ser reconstruídos e analisados com diversos métodos qualitativos que permitem ao pesquisador criar modelos, teorias, como formas de descrever e explicar as questões sociais.

Para Boccato (2006), a pesquisa bibliográfica visa a resolução de um problema por meio de referenciais teóricos publicados, analisando e discutindo as várias contribuições científicas. Buscando assim trazer subsídios para o conhecimento sobre o tema investigado.

Esta pesquisa foi realizada analisando as publicações de cinco revistas de impacto internacional da área de Física e cinco dos eventos da mesma área, também com impacto internacional. No quadro a seguir apresentamos as revistas e eventos selecionados para esta pesquisa:

Quadro 1: Revistas e eventos utilizados na investigação

Eventos		
Título	Site acesso	Abrangência
Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada	http://www.sbfisica.org.br/~enfmc/xxxii/	Nacional
<i>International Symposium on Lepton Photon Interactions at High Energies</i>	https://www-conf.slac.stanford.edu/lp13/participant_list.asp	Internacional
<i>International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions</i>	https://g3indico.tifr.res.in/event/598/registrations/participants	Internacional
<i>International Conferences on Precision Physics of Simple Atomic Systems (PSAS)</i>	http://psas2020.csp.escience.cn/dct/page/70051	Internacional
<i>Solvay Conference on Physics</i>	http://www.solvayinstitutes.be/html/solvayconf_physics.html	Internacional
Revistas		
Título	Site acesso	Abrangência
Brazilian Journal of Physics	https://link.springer.com/journal/13538/volumes-and-issues	Nacional
<i>Reviews of modern Physics</i>	https://journals.aps.org/rmp/issues	Internacional
<i>Physical Review X</i>	https://journals.aps.org/prx/issues	Internacional
<i>Annalen der Physik</i>	https://onlinelibrary.wiley.com/loi/15213889	Internacional
<i>Nature Physics</i>	https://www.nature.com/nphys/volumes	Internacional

Fonte: Dados das autoras (2021).

Resultados e discussões

Dividimos a apresentação e discussão dos resultados em dois momentos. No primeiro, apresentaremos os dados relativos à participação das mulheres nos eventos da área da Física. A seguir, apresentaremos os dados das publicações nas revistas selecionadas.



Participação das mulheres em eventos

Para compreendermos se houve um crescimento na participação das mulheres em eventos relacionados à Física analisamos as suas produções nos anais dos eventos do Quadro 2 a seguir.

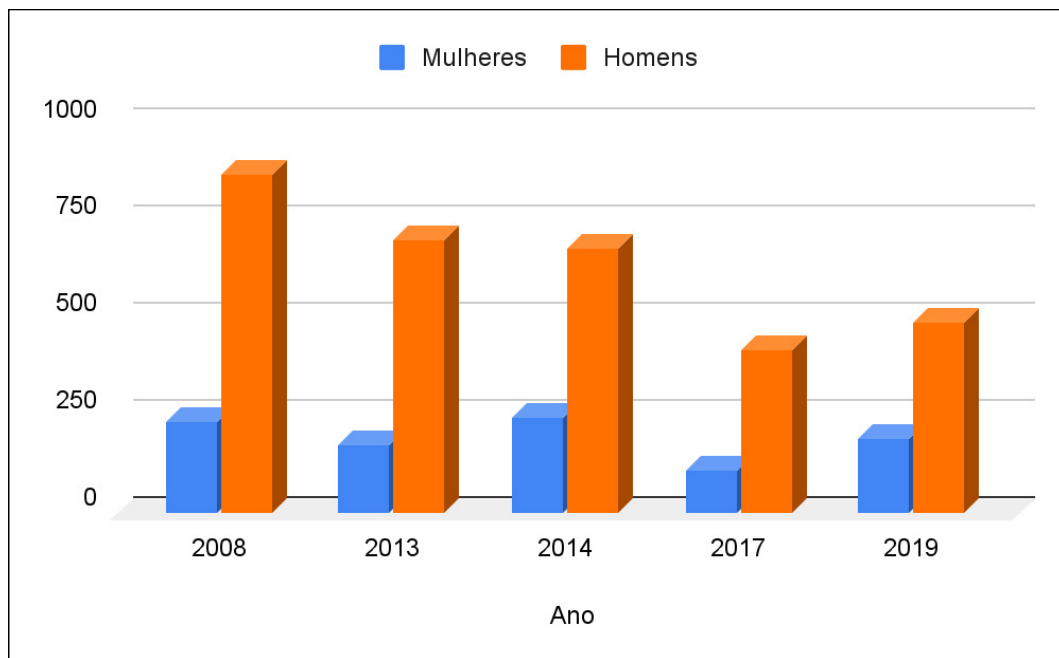
Quadro 2: Eventos pesquisados

Eventos	Anos dos anais pesquisados
Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada	2009 - 2011 - 2013 - 2015 - 2017 - 2019
<i>International Symposium on Lepton Photon Interactions at High Energies</i>	2010 - 2012- 2014 - 2016 - 2018 - 2020
<i>International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions</i>	2005 - 2008 - 2011 - 2014 - 2017
<i>International Conferences on Precision Physics of Simple Atomic Systems (PSAS)</i>	2008 - 2010 - 2012 - 2014 - 2016 - 2018
<i>Solvay Conference on Physics</i>	2008 - 2013 - 2014 - 2017 - 2019

Fonte: Dados das autoras (2021).

O primeiro evento escolhido foi o “Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada”, este evento foi escolhido por ser o evento nacional de maior reconhecimento no Brasil entre os pesquisadores da área. Este evento tem sido realizado desde 1978, sem interrupções, ao redor do Brasil.

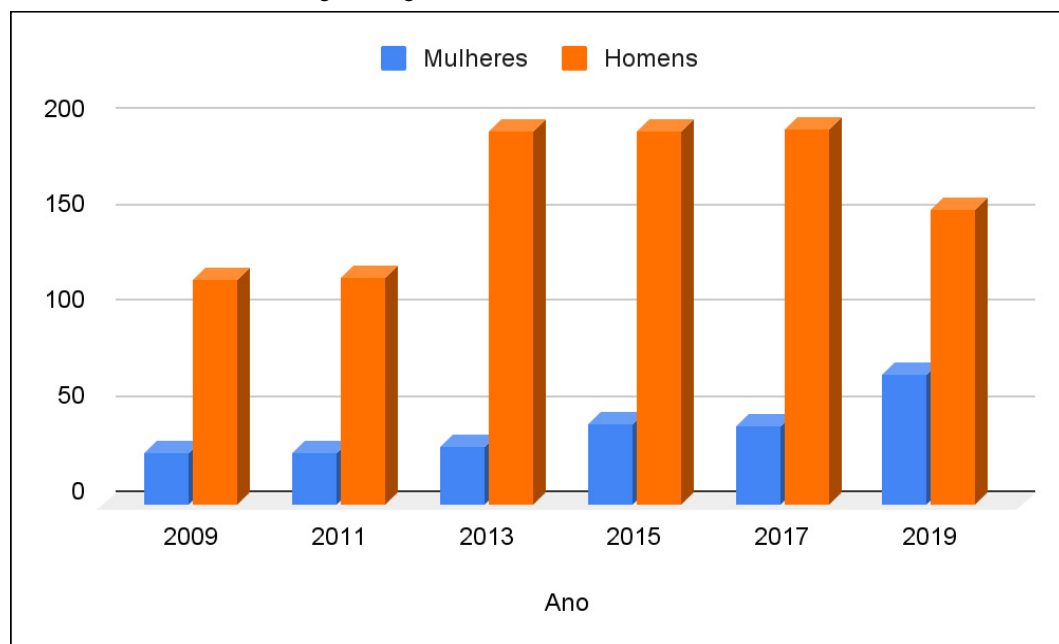
Os dados foram recolhidos a partir dos nomes apresentados nas atas. Com estes dados foi possível criar o gráfico 1. Neste gráfico é visível a diferença entre a quantidade de mulheres e de homens que participaram neste evento ao longo dos anos, sendo o pico de participação feminino ocorrido em 2014, contendo aproximadamente 250 mulheres, e neste mesmo ano o evento contou com um valor aproximado de 680 homens.

Gráfico 1: Participação de mulheres x homens em Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada

Fonte: Dados das autoras (2021).

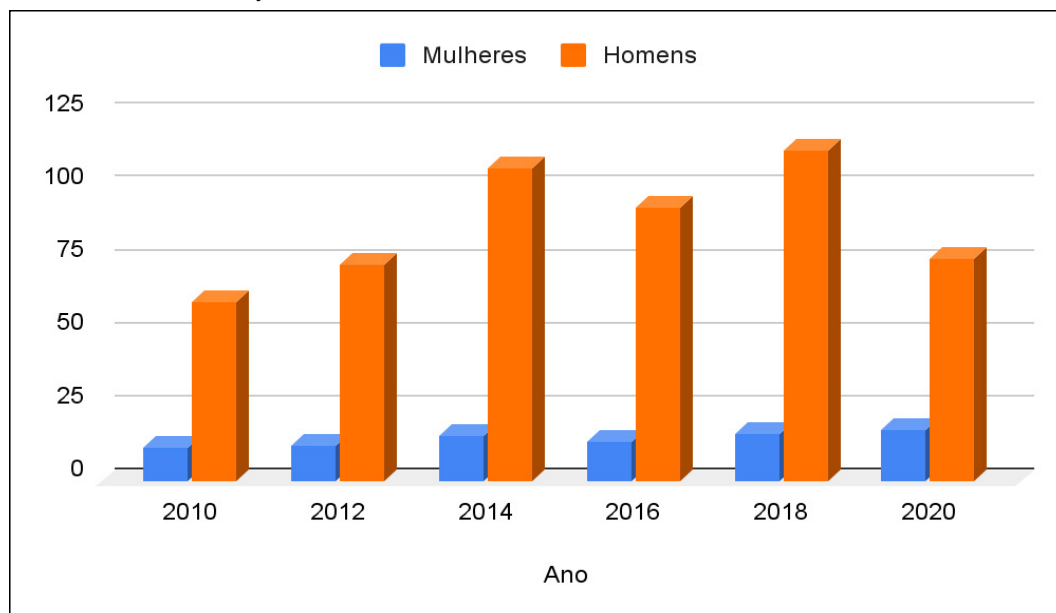
O segundo evento escolhido, “*International Symposium on Lepton Photon Interactions at High Energies*”, ocorre a cada 2 anos em um país diferente. Tal evento surgiu da *Union of Pure and Applied Physics* (IUPAP) e físicos de todo o mundo se reúnem para discutir os últimos avanços na física de partículas, Astrofísica, Cosmologia e planejar grandes instalações futuras. Os dados encontrados neste evento estão disponíveis no gráfico 2. Ao compararmos este gráfico com 1, percebermos que os dados não são muito diferentes, basta comparar o máximo de mulheres que participaram do evento, 67 em 2019, e o mínimo de homens já participaram do evento, 117 em 2009, ou seja o máximo de mulheres que já participaram no evento não chega perto da quantidade mínima de homens.

Gráfico 2: Participação de mulheres x homens em International Symposium on Lepton Photon Interactions at High Energies



Fonte: Dados das autoras (2021).

O terceiro evento “*International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions*”, é um evento bienal que é apoiado pela *International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP)* e a cada ano, o evento acontece em um país diferente. Este evento foi criado com o objetivo de fornecer um fórum para a discussão de interações de energia muito alta para a interpretação de dados de raios cósmicos com base nas informações disponíveis de experimentos de aceleradores e raios cósmicos. Ao analisar o gráfico 3, criado com os dados retirados deste evento, podemos perceber que está na mesma perspectiva dos gráficos anteriores, do qual 17 é a maior quantidade de mulheres que já participou desse evento, em contraste com os homens cujo mínimo foi maior que 50.

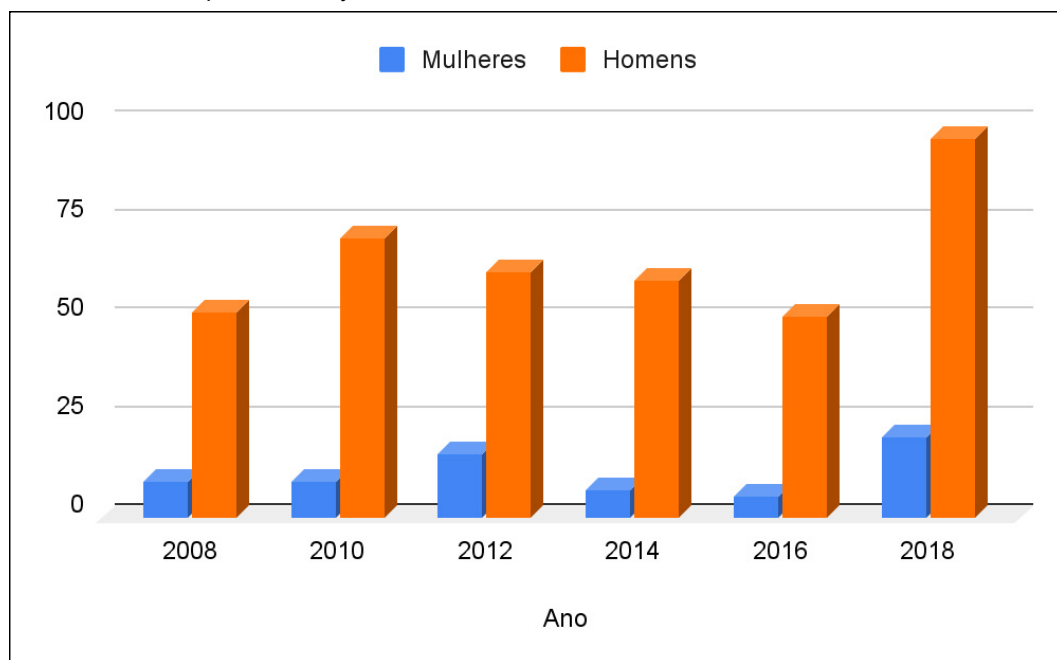
Gráfico 3: Participação de mulheres x homens em International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions

Fonte: Dados das autoras (2021).

O evento *International Conferences on Precision Physics of Simple Atomic Systems*, o quarto evento escolhido, é realizado a cada dois anos. O evento é dedicado a estudos de precisão de sistemas atômicos e moleculares simples, a fim de desenvolver novas abordagens e acessar várias questões fundamentais dentro e além da física atômica e possíveis novas físicas.

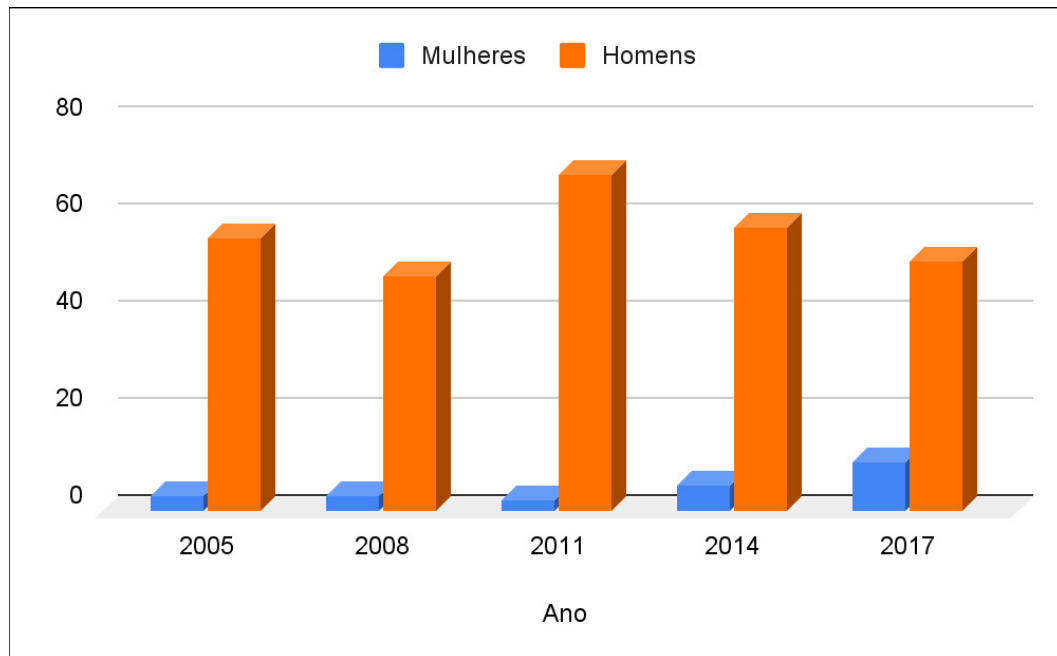
Ao analisar o gráfico 4, construídos dos dados retirados desse evento, o contraste entre a quantidade de mulheres e homens que participaram do evento continua evidente, em que a quantidade de mulheres não chega nem perto da quantidade de homens que participaram. Sendo o máximo de mulheres menor que 25 e o mínimo de homens perto de 50.

Gráfico 4: Participação de mulheres x homens em International Conferences on Precision Physics of Simple Atomic Systems



Fonte: Dados das autoras (2021).

O último evento, “*Solvay Conference on Physics*”, é o evento de Física mais conhecido mundialmente, pois nele foi tirada a foto com os mais renomados cientistas, como Marie Curie, Albert Einstein, Max Planck, Niels Bohr, entre outros. Mesmo sendo o mais conhecido, é um evento fechado, em que os participantes são selecionados pelo presidente da Conferência. O máximo de mulheres que foram convidadas a participar deste evento foram 10, e o mínimo de homens 48, como mostrado no gráfico 5.

Gráfico 5: Participação de mulheres x homens em Solvay Conference on Physics.

Fonte: Dados das autoras (2021).

Uma provável explicação, para o fato da baixa participação das mulheres nesse evento em específico, pode ser, devido a Conferências Solvay ser apenas para convidados, reunindo um número limitado de especialistas reconhecidos para debater um tema específico. Dessa forma, como apontou Benedito (2019) por vezes, as mulheres são responsáveis por grandes pesquisas, mas acontece o “Efeito Matilda”, assim as pesquisas realizadas por mulheres são menos reconhecidas do que as produzidas por homens. Ou ainda como a análise histórica tem nos mostrando, as mulheres são reduzidas a colaboradoras e o nome de destaque na pesquisa é masculino.

Análise dos gráficos nos revela que a participação das mulheres em eventos vem crescendo a passos lentos. Mas isso, não é uma regra, em alguns eventos como o “Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada” e o “International Conferences on Precision Physics of Simple Atomic Systems”, ocorreram quedas na participação das mulheres em determinados anos. Muitas podem ter sido as causas para a instabilidade do número de participações femininas nesses eventos, talvez uma delas pode ter sido a questão das datas de submissão dos trabalhos.

De forma geral, todos os gráficos mostram uma alta discrepância dos dados, revelando que a quantidade de mulheres que participam dos eventos é bastante inferior aos homens, totalizando, dentro dos 12 anos analisados, 5.322 publicações masculinas em anais de evento, contra 1.349 femininas. Ou seja, os homens publicam cerca de quatro vezes mais que as mulheres.

O relatório publicado pela editora científica Elsevier, “Gender in the global research landscape” (2017) analisou o gênero das pesquisas, em conjunto com 12 países. Fazem parte das conclusões produzidas neste relatório, o fato das mulheres possuírem menor mobilidade internacional que os homens. Em consequência disso, elas podem também restringir sua rede de colaboração internacional. Dessa forma, se a colaboração internacional ocorrer com menor frequência para mulheres suas redes podem permanecer pequenas e isso pode afetar negativamente as oportunidades para progressão na carreira de pesquisadoras, e consequentemente no número de publicações de pesquisas em eventos científicos e revistas.

Mas para visualizar um panorama ainda maior da representatividade das mulheres na Física, é necessário analisar também, a participação das mulheres nas publicações em revistas de alto impacto.

Participação das mulheres nas publicações em Revistas

Na sequência deste estudo, para compreendermos se houve um crescimento na participação das mulheres nas publicações de alto impacto na área da Física, investigamos as seguintes revistas distribuídas no Quadro 3 a seguir. Investigamos as publicações dos anos de 2008 a 2020.

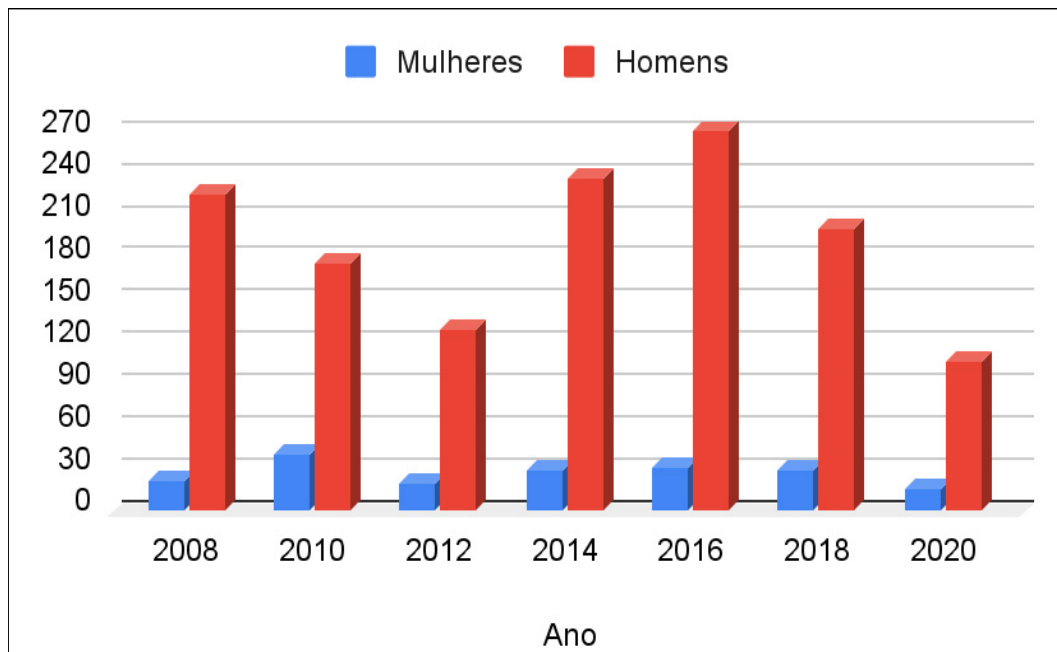
Quadro 3: Revistas utilizadas na investigação.

Revistas	Qualis
Brazilian Journal of Physic	B1
<i>Reviews of modern Physic</i>	A1
<i>Physical Review X</i>	A1
<i>Annalen der Physik</i>	A2
<i>Nature Physics</i>	A1

Fonte: Dados das autoras (2021).

A primeira revista escolhida é a mais famosa revista do Brasil se tratando de Física, sendo esta *Braziliam Journal of Physics*. Esta revista foi fundada em 1971, e apresenta pesquisas originais e atuais em todos os aspectos, sendo experimental, teórico ou física computacional, além de ser uma revista que é reconhecida no Brasil e internacionalmente. Mesmo sendo uma revista reconhecida, o aumento na participação das mulheres está ocorrendo de forma muito lenta ao passar dos anos, aparentemente estando estagnado entre 10 á 40 o número de mulheres que contribuíram para a revista.

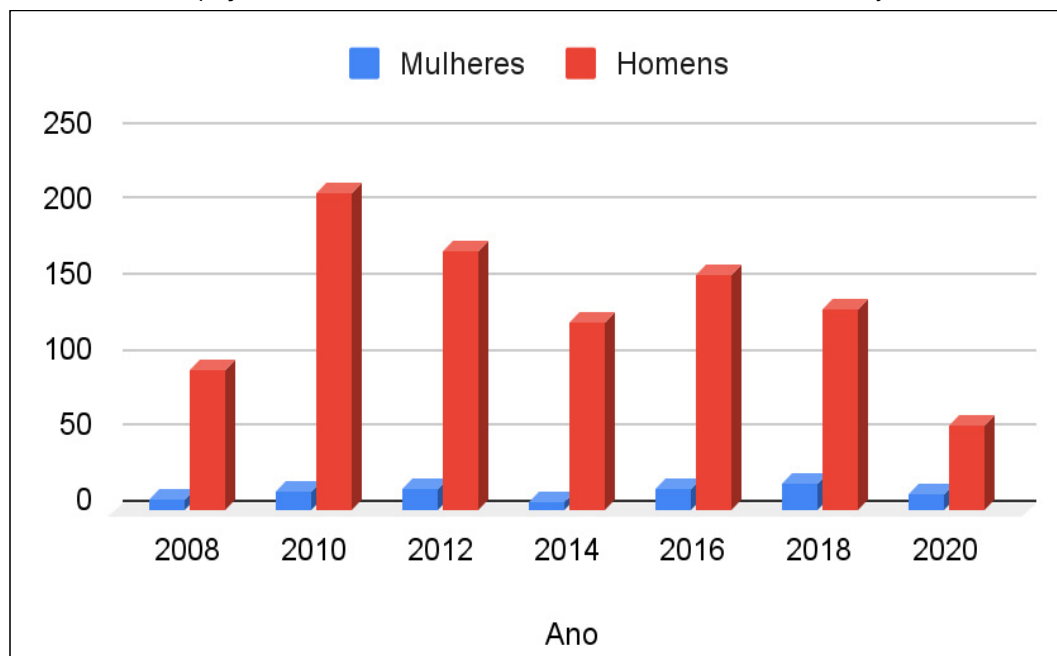
Gráfico 6: Participação de mulheres x homens na revista Brazilian Journal of Physics. Fonte:



Fonte: Dados das autoras (2021).

A segunda revista escolhida iniciou suas publicações em 1929 pela American Physical Society, e é umas das revistas de física mais premiadas mundialmente e acompanhou o progresso da física durante um período de crescimento explosivo neste campo. O gráfico desta revista, gráfico 7, não é muito diferente do gráfico 6 com um aumento lento na participação das mulheres.

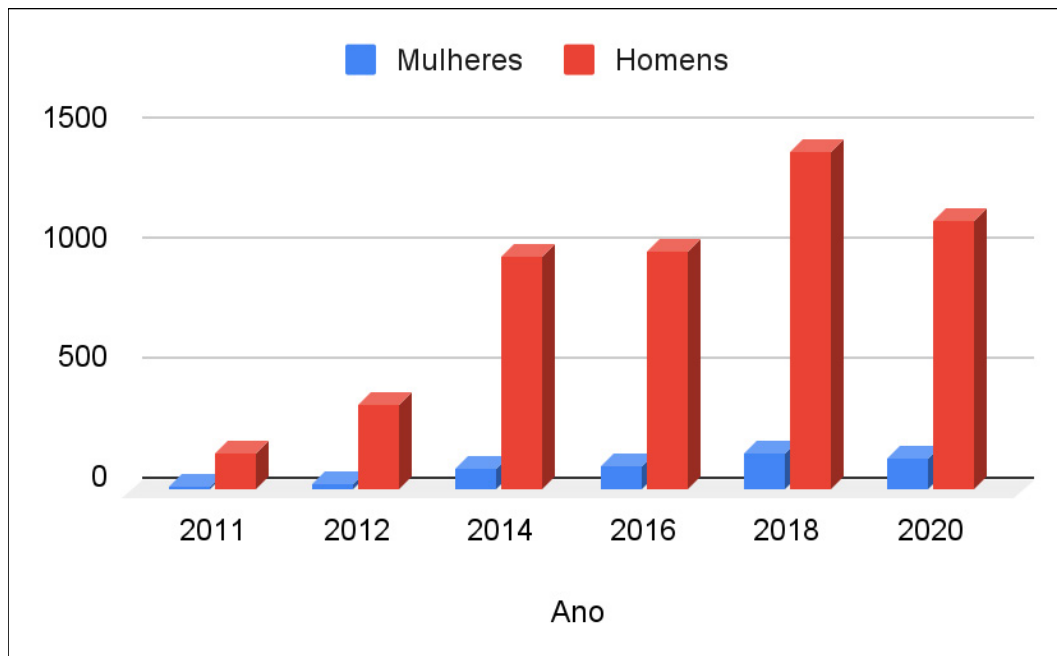
Gráfico 7: Participação de mulheres x homens na revista *Reviews of Modern Physics*



Fonte: Dados das autoras (2021).

A revista *Physical review X* é publicada pela *American Physical Society* e iniciou suas publicações em 2011, sendo a revista mais recente escolhida. Diferente das outras, é um periódico somente online de acesso totalmente aberto que valoriza a inovação, a qualidade e o impacto de longo prazo na ciência que publica. Sendo uma revista de acesso mais fácil, a quantidade de mulheres que contribuíram é significativamente maior que as vistas anteriormente, sendo que 151 contribuíram com trabalhos para as publicações em 2018. Porém, ao visualizar o gráfico 8, é perceptível que os dados não fogem do padrão apresentado nas revistas anteriores, com uma quantidade de homens muito superior que a das mulheres e um lento aumento na participação das mulheres ao longo dos anos.

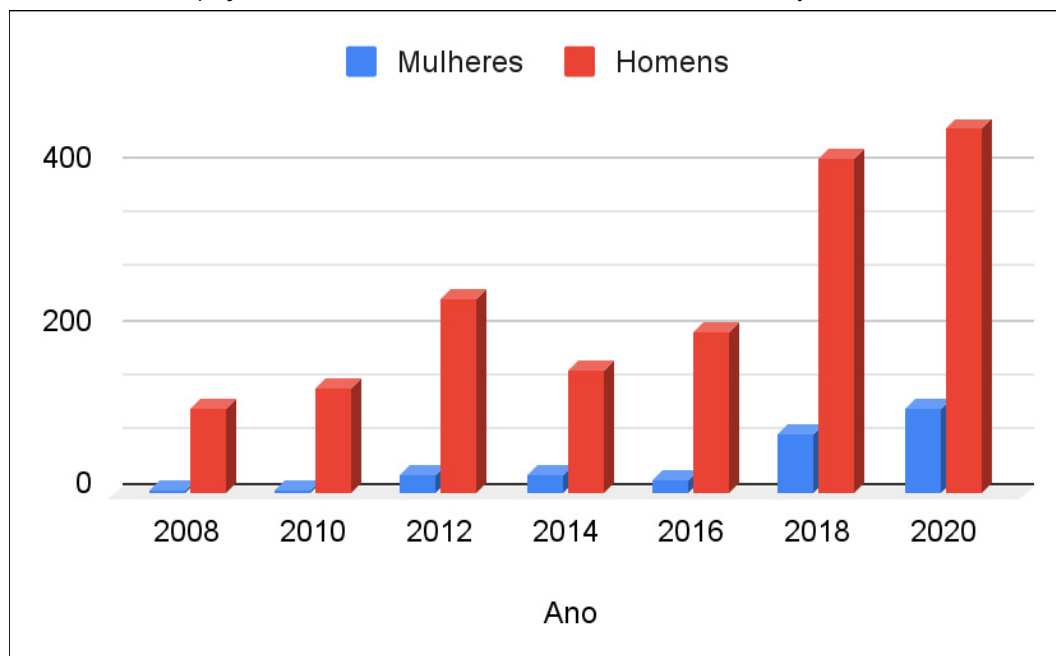
Gráfico 8: Participação de mulheres x homens na revista Physical Review X.



Fonte: Dados das autoras (2021).

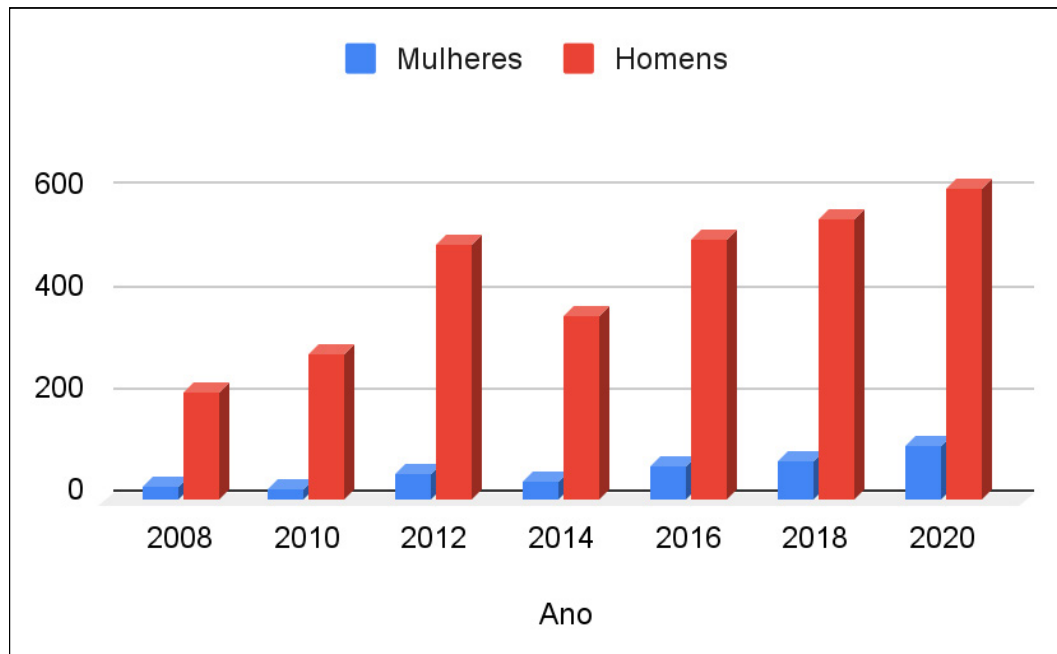
Annalen der Physik é um dos mais conhecidos e antigos periódicos sobre física, editado em Berlim, Alemanha e começou suas publicações em 1799. A revista publica artigos originais na área da física experimental, teórica, aplicada e matemática e em áreas relacionadas. Ao analisar o gráfico 9, desta revista pode se perceber que deste 2016 houve um aumento significativo nas contribuições das mulheres, diferente dos gráficos anteriores.

Gráfico 9: Participação de mulheres x homens na revista *Annalen der Physik*.



Fonte: Dados das autoras (2021).

A última revista escolhida, *Nature Physics*, é uma revista científica mensal publicada pela Nature Research e foi publicada pela primeira vez em 2005. Esta revista apresenta pesquisas da mais alta qualidade em todas as áreas da física, pura e aplicada. Ao observar o gráfico 10, é possível visualizar um aumento na quantidade de contribuições das mulheres nesta revista desde 2010.

Gráfico 10: Participação de mulheres x homens na revista Nature Physics

Fonte: Dados das autoras (2021).

De forma geral, podemos perceber através dos gráficos que ainda existe uma grande diferença entre a quantidade de artigos publicados em revista entre os sexos feminino e masculino, embora em algumas revista a situação, a passos lentos, venha mudando. As mulheres publicaram cerca 1.400 artigos em revistas, em contrapartida, o número de publicações masculinas se aproxima de 12.000 artigos, dentro dos 12 anos investigados nessa pesquisa. A análise dos dados confirma a chamada exclusão horizontal na área da Física, ou seja, as mulheres estão sub-representadas neste campo (LIMA, 2008).

A sub-representatividade de mulheres na área da Física não é exclusividade do Brasil, como aponta a pesquisa realizada pela International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) (2015). A pesquisa revela dados mundiais que mostram que o percentual de mulheres na Física diminui à medida que avançam na carreira.

Em uma pesquisa desenvolvida por Saitovitch, Lima e Barbosa (2015, p. 5) com o objetivo de analisar o percentual de mulheres bolsistas em diferentes modalidades, são apresentados resultados que chamam a atenção. As autoras verificaram

que o número de bolsistas do sexo feminino de IC tem aumentado, mas o mesmo não acontece com as mulheres bolsistas de mestrado e doutorado “os dados mostram percentuais em torno de 21% para o mestrado e de 17% para o doutorado sem que nenhuma tendência de aumento seja detectada”. A pesquisa desenvolvida por Menezes (2015) revela resultados semelhantes: apenas 11% das mulheres são bolsistas CNPQ.

Por outro lado, Menezes et al.(2017) ao analisar os indicadores mais relevantes na distribuição de bolsas em cada nível, indica que não existe diferença considerável entre os gêneros, apesar das discrepâncias geradas por tamanhos de amostras muito distintos serem grandes.

Algumas considerações acerca deste trabalho

A participação feminina na Física é muito importante, como apontado por Barbosa (2010), a Física do século XXI necessita das melhores mentes para avançar. Dessa forma, a intenção deste trabalho é levantar dados a respeito da participação de mulheres em publicações de artigos em eventos e revistas na área da Física.

Nos eventos, em momento algum, dentro do período investigado neste estudo, o número de publicações femininas ultrapassou ou se igualou as publicações masculinas. Verificamos que mulheres vêm cada vez mais participando dos eventos, mas isso não é uma regra, nos eventos “Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada” e o “*International Conferences on Precision Physics of Simple Atomic Systems*”, ocorreram quedas na participação das mulheres em determinados anos. A análise geral dos dados das publicações em eventos, revelam que, dentro dos 12 anos analisados, os homens publicaram cerca de quatro vezes mais que as mulheres, são 5.322 publicações masculinas em anais de evento, contra 1.349 femininas.

Nas revistas a situação é ainda mais discrepante, nomes femininos foram encontrados em apenas 1.400 artigos, enquanto os homens publicaram cerca de 12.000 artigos. Ou seja, os homens publicaram cerca de 8,6 vezes a mais que mulheres dentro do período analisado.

Estudos têm demonstrado que a sub-representação das mulheres na área das exatas não é exclusividade do Brasil, o cenário se repete em países como Estados Unidos, França, Austrália e Canadá. Portanto ainda há muito o que fazer para alcançar a equidade de gêneros. Como apontado por Saitovitch, Lima e Barbosa (2015),

é necessário com urgência realizar um acompanhamento do sistema para melhor identificar as barreiras que resultam na sub-representatividade das mulheres na física, e muito além de identificá-las, é preciso propor estratégias com o objetivo de superá-las, contribuindo para uma participação maior e mais qualificada das mulheres na física brasileira.

Por isso, nosso próximo passo é investigar mais a fundo essa situação, tentando descortinar o que está por trás dessa baixa participação feminina na pesquisa científica da área da Física e seu impacto na produção do conhecimento científico.

Por fim, uma pergunta que nos fizemos ao final deste trabalho foi a respeito das possíveis diferenças que podem haver entre as publicações e participações das mulheres em eventos entre a área das Ciências Exatas e das Ciências Humanas, em especial na área de Ensino.

The invisibility of women in physics: a cut in the last 12 years in the production of high impact events and magazines

Abstract

The participation of women in scientific careers has been a very recurrent theme in current studies. Research has shown that, in certain areas, female participation has increased and even surpassed men, but this does not apply to Physics. One of the challenges for the greater representation of women in the career of Physics is caused by being an area considered essentially masculine by many, which results in the demotivation of girls to follow in this field. We understand that one of the ways to change this worldview about women in physics is the need for greater representativeness in journals or scientific events in the area. This article makes a review in order to verify if there was, in the last 12 years, from 2008 to 2020, some increase in this representation. For this, five high-impact magazines and five national and international events were selected. The data collected reveal a very high discrepancy in the amount of publication between men and women, reaching cases, for example, in which men published 1,128 more journal articles than women in a single year. Therefore, this work demonstrates that there is still a lot to be done in the field of Physics so that there is equity in scientific production and female participation in publications in the área.

Keyword: Women; Physics, Publications.



Referenciais

- AGRELLO, Deise A.; GARG, Reva. Mulheres na Física: poder e preconceito nos países em desenvolvimento. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, n. 31, v. 1, p. 1305-1311, abr./mai 2009.
- ALMEIDA, Aline Alves. **Sob o Peso do Gênero**: análise da (in)visibilidade das mulheres da Física no livro didático do Ensino Médio. Patos: UEPB. Trabalho de Graduação de Curso (Graduação em Física), Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas, Universidade Estadual da Paraíba, 2017.
- ANDRADE, Francisco Leal de. **Determinismo Biológico e Questões de Gênero**: representações e práticas de docentes do Ensino Médio. UFBA, 2011. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia, 2011.
- BARBOSA, Marcia. Equity for women in physics. **Physics World**, v. 16, n.7, jul. 2003.
- BLAY, Eva A.; Conceição, Rosana R. da. A mulher como tema nas disciplinas da USP. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, n. 76, p. 50-56, fev 1991.
- BOCCATO, Vera Regina Casari. Metodologia da Pesquisa Bibliográfica na área Odontológica e o artigo científico como forma de comunicação. **Revista de Odontologia da Universidade Cidade de São Paulo**, v. 18, n. 3, p. 265-74, set-dez 2006.
- BOLZANI, Vanderlan da Silva. Mulheres na ciência: por que ainda somos tão poucas?. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 69, n. 4, p. 56-59, out./dez. 2017.
- BOMBARDIERI, Marcella. *Summers' remarks on women draw fire*. **The Boston Globe**. Disponível em: <http://archive.boston.com/news/local/articles/2005/01/17/summers_remarks_on_women_draw_fire/>. Acesso em: 28 jun 2021.
- CARTAXO, Sandra Maria Carlos. **Gênero e Ciência**: um estudo sobre as mulheres na Física. Campinas: UNICAMP, 2012. Tese (Mestrado em Política Científica e Tecnológica), Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2012.
- CHASSOT, Attico. A CIÊNCIA É MASCULINA? É, sim senhora!. **Revista Contexto & Educação**, v. 19, n. 71-72, maio 2020.
- CORDEIRO, Marinês Domingues. Mulheres na Física: um pouco de história. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 669-672, dez. 2017.
- ELSEVIER RESEARCH INTELLIGENCE. **Gender in the global research landscape**: analysis of research performance through a gender lens across 20 years, 12 geographies, and 27 subject areas. Elsevier, 2017. Disponível em: <https://www.elsevier.com/__data/assets/pdf_file/0008/265661/ElsevierGenderReport_final_for-web.pdf>. Acesso em: 28 jun 2021.
- GIBBS, Graham. **Análise de dados qualitativos**. São Paulo: Editora S. A., 2009.
- GINITY, Eliane Goulart Mac. Imagens de mulheres nos Livros Didáticos de História. **Revista do Laboratório de Ensino de História da Educação da UFRGS**, v.2, n.3, p.915-932, dez. 2015.
- LIMA, Betina Stefanello. **Teto de vidro ou labirinto de cristal? As margens femininas da Ciência**. Brasília: UnB. Trabalho de Pós-Graduação (Pós-Graduação em História), Instituto de Humanas, Universidade de Brasília, 2008.
- MARTINS, Eliecília de F.; HOFFMANN, Zara. Os papéis de gênero nos livros didáticos de ciência. **Revista Ensaio**, v. 9, n. 1, p. 132-151, jan-jun 2007.



MENEZES, Débora P. Editorial Mulheres na Física: a realidade em dados. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 341-343, ago. 2017.

MENEZES, D. P.; BRITO, C.; BUSS, K.; ANTENEODO C. Bolsistas de produtividade em pesquisa em Física e Astronomia: análise quantitativa da produtividade científica de homens e mulheres. **Grupo de trabalho de Gênero da SBF**, 2016. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/gt-genero/images/arquivos/Apresentacoes_e_Textos/dados_CNPq_2016_vf.pdf>. Acesso em: 11 Jun 2021.

NUNES, J. M.; BATISTA, R. A. da S.; PIMENTEL, W. L.; OLIVEIRA, J. F. de; COSTA, L. F. S. da; SILVA, A. dos R. “Você conhece uma cientista?": investigação temática sobre a ausência da história das mulheres na ciência no ensino básico da cidade de Castanhal – PA. **Brazil Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 86211-86221, nov. 2020.

ROSSITER, Margaret W. *The Mathew Matilda Effect in Science*. **Social Studies of Science**, v. 23, n. 2, p. 325-341, mai 1993.

SAITOVITCH, Elisa B. et al. Mulheres na Física: uma análise quantitativa. In: SAITOVITCH, Elisa B. (Org.). **Mulheres na Física: Casos históricos, panorama e perspectivas**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015. p. 245 - 256.

SCHIEBINGER, Londa. Mais mulheres na ciência: questões de conhecimento. **História, ciência, saúde-Manguinhos**. v.15, suplemento, p.269-281, jun. 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/hcsm/a/LZcRqYbsQR4cxYkgfCGyjyr/?lang=pt>>. Acesso em 28 de junho de 2021.

SILVA, A. F. da; SANTOS, A. P. O. dos; HEERDT, B. Questões de gênero na educação científica: tendências nas pesquisas nacionais e internacionais. In: ANAIS DO XI ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, Fortaleza, 2017. **XI ENPEC**. Disponível em: <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anaais/resumos/R2223-1.pdf>> Acesso em: 07 jul 2021.

SILVA, Fabiane F. da; RIBEIRO, Paula R. C.. Trajetórias de mulheres na ciência: “ser cientista” e “ser mulher”. **Ciência & Educação**, v. 20, n. 2, p. 449-466, 2014.

UFRGS TV. Palestrante: Márcia Barbosa. **Física na Cultura - Mulheres na Física [3/3]**. Abr. 2010. Disponível em :< <https://www.youtube.com/watch?v=halxFjx3hEE>> Acesso em: 28 de Jun 2021.

VASCONCELLOS, Elza C. C.; BRISOLLA, Sandra N. Presença Feminina no Estudo e no Trabalho da Ciência na Unicamp. **Cadernos Pagu**, n. 32., p. 215-265, 209, Jun 2009.



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>

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 sequência 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

É 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 confirma-



da 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 sequência 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 sequência, 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 Simplicio:

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?

SIMPLICIO: 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, Simplicio, 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:

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 $\sim P$ (não-P), aplicado no caso em questão. Na sequência 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, $\sim Q$, então $\sim P$), 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 sequência da argumentação, esta conclusão C1 irá funcionar como o antecedente da próxima premissa elencada, P3, que retira como consequência 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



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.

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-abduutivo 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 conseqüente 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; SKORDOLIUS, 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 conseqüentemente 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).
- ³ 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. **A lógica 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.; NITSCHKE, 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.

Reconstruindo alguns modelos sobre luz e visão da história da ciência

Lisbeth Lorena Alvarado Guzmán*, Roberto Nardi**

Resumo

Ao longo da história se há tecido concepções sobre a luz e a visão que se evidenciam em campos tão diversos como a física, a teologia, a psicologia, a biologia, entre outros. Isto têm implicado no desenvolvimento de tecnologias com diversas aplicações, ao mesmo tempo, em que alcançam novos entendimentos e outros fenômenos surgiram. O objetivo fundamental deste artigo é fazer um tour por alguns modelos de luz e visão que foram coletados da história da óptica, dando atenção especial a refração. Da mesma forma, traz uma breve discussão sobre a tecnologia e suas relações com a ciência por meio da análise do papel da câmera escura como análogo ao olho, expandindo a compreensão do mecanismo da visão e mostrando uma gama de aplicações provenientes de campos tão diversos como a pintura. Conclui-se que a história da óptica é extensa e repleta de detalhes que nos mostram como a ciência se desenvolve através de controvérsias, da comunicação entre cientistas e da necessidade de explicar, prever e criar fenômenos. Longe de pretender ser exaustivo na apresentação dos modelos, o que se evidencia é a demarcação dos fenômenos e a estabilização dos fatos que dão origem a um modelo teórico. Por fim, são sugeridas algumas contribuições para os professores a partir de uma perspectiva da natureza da ciência e da tecnologia que podem ser consideradas em sala de aula.

Palavras-chave: História da óptica, Modelos de Visão, Refração, Câmera Escura, Ensino de Óptica.

* Doutoranda em Educação para a Ciência – Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” (UNESP). E-mail: lisbeth.alvaradofm@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0407-7921>

** Doutor em Educação pela Universidade de São Paulo, (USP). Docente do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” (UNESP). E-mail: rnardi@unesp.br. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5018-3621>



Introdução

Lembrando a introdução da *Estrutura das revoluções científicas* (1962), intitulada “Um papel para a história”, Kuhn menciona: “[...] Gradualmente, e muitas vezes sem perceber completamente que estão fazendo isso, os historiadores da ciência começaram a fazer novos tipos de perguntas e traçar linhas diferentes e muitas vezes dificilmente cumulativas de desenvolvimento científico” (KUHN, 1962, p. 104). Sob tal contexto, ao refletir sobre o papel da história na formação de professores de Física e na docência no ensino superior, torna-se necessário repensar sobre novas abordagens da história da ciência que possibilitem modificações no imaginário dos docentes e futuros professores acerca da construção e estabelecimento dos conhecimentos científicos e extrair contribuições para gerar novas formas de ensino. Sendo assim, é importante ressaltar que existem diferentes linhas sobre o desenvolvimento científico que se sobrepõem, divergem, convergem e se cruzam, mas como Kuhn mencionou, elas raramente são cumulativas.

Nesse sentido, a óptica é um dos ramos da física mais antigos e mais estudados. Isso pode estar relacionado ao caráter privilegiado da visão que nos fornece informações sobre o mundo exterior, distanciando-nos e afastando-nos dos perigos. Segundo Lindberg (1992, p. 152), “a luz é uma das entidades mais importantes e agradáveis neste mundo que não é apenas o instrumento da visão, mas também está conectado, na forma de luz solar, ao calor e à vida”. Ao longo da história, foram geradas concepções sobre a visão e luz que envolveu contribuições de diversos campos como a física, a astronomia, a matemática, a teologia, a psicologia, a anatomia, a arte, entre outros. Isso mostra que a luz tem um caráter vital na forma como conhecemos e interagimos com o mundo, portanto compreender seu funcionamento e “dominá-la” tem implicado no desenvolvimento de fenômenos nunca vistos antes e tecnologias com aplicações em campos tão diversos como a medicina, a guerra, a tecnologia e nossa cotidianidade.

As seções que se seguem não pretendem ser um estudo exaustivo da óptica desde os gregos até o Newton, pelo contrário, procura estabelecer relações entre os diferentes modelos de visão e luz, os fenômenos associados à refração e alguns instrumentos que têm o olho e sua relação com a luz como analogia.

Modelos teóricos em física e didática das ciências

As reflexões meta-científicas associadas à história, filosofia e sociologia da ciência encontraram uma base poderosa em modelos teóricos de uma perspectiva semanticista. A indagação sobre os produtos, leis, processos, sistemas e comunidades da ciência deixa de ser associada à sua forma para focar nos significados e sentidos que eles possuem, ou seja, para uma análise semântica (ARIZA; ADÚRIZ BRAVO, 2012). Essa ênfase também tem estado presente nos últimos anos na Didática das Ciências, gerando contribuições na imagem da natureza da ciência e dos conteúdos escolares.

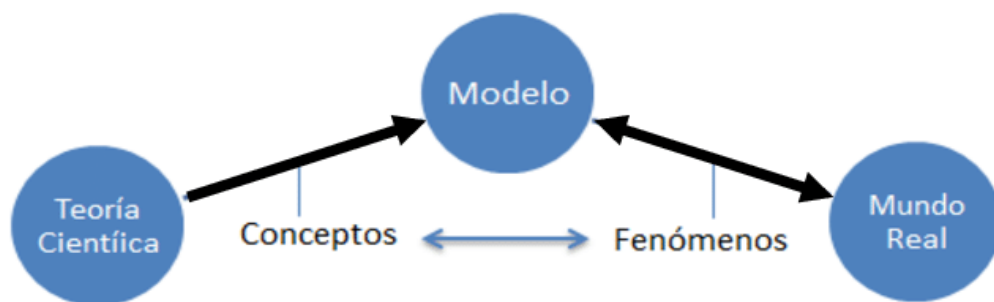
Diante dessa importância, cabe perguntar o que é um modelo? A noção de modelo desde sua gênese é polissêmica e problemática, sendo abordada em campos como a matemática e gerando diferentes linhas e formas de compreender sua relação com as teorias. Dentro destas linhas, na concepção semanticista, está o trabalho do filósofo Ronald Giere (1992;1999) que usa a expressão “modelo cognitivo da ciência”, e considera que os modelos têm um caráter mediador e representacional, situando-se entre as teorias e o mundo. No mesmo sentido, outra definição possível é: “os modelos são representações parciais e idealizadas do mundo (MOULINES; 2011) que nos ajudam a raciocinar sobre os fenômenos (cf. Grandy; Duschl 2007), constituindo uma parte essencial da identidade das teorias (ARIZA; ADÚRIZ BRAVO, 2012, p. 28)”. Essa última definição destaca a parcialidade e a idealização da representação, bem como as duas características mencionadas por Giere: o caráter representacional e mediador dos modelos. A primeira é essencial para entender que o modelo não é realidade, embora dependa disso. A segunda característica redefine a teoria científica, visto que agora é concebida como uma família de modelos. Em ambos os casos, a semelhança que o modelo deve encontrar com o mundo real e as teorias faz com que tenham um “pé” na teoria e outro no “mundo” e nos afasta de posições que dão grande peso à teorização ou à experimentação no ensino de ciências.

Segundo Adúriz-Bravo e Morales (2002) citando a Duschl (1997), é possível identificar dois níveis de representação que são mediados por símbolos e significados que lhes atribuímos. O primeiro nível, denominado sistema físico (ADURIZ-BRAVO; MORALES, 2002), é uma representação de primeira ordem que estrutura o mundo dos fenômenos, transformando (organizando) os dados em evidência, estabelecendo um padrão e, portanto, pressupõe uma intervenção do homem para organizar sua



realidade e torná-la mais compreensível. O segundo nível de representação inclui teorias sobre funções, propriedades e relacionamentos. Assim, fenômenos e conceitos aparecem vinculados à relação: teoria científica-modelo científico-mundo real, uma vez que, se espera que os primeiros sejam organizados em modelos para dar conta de um conjunto de fenômenos e/ou experiências no mundo que, por sua vez, geram conceitos e mostram a função semiótica da representação, ou seja, o papel da linguagem na significação e intervenção no mundo. A seguir, é apresentado um esquema retomado por Hernández Silva e Izquierdo (2017), no qual se exemplifica a relação entre a teoria científica- modelo científico-mundo real.

Figura 1: Modelo como conexão entre Teoria e Mundo, baseado em Giere (1999).



Fonte: HERNÁNDEZ SILVA; IZQUIERDO, 2017, p. 3882

A seguir, exploraremos diferentes modelos de visão com ênfase no reconhecimento dos fenômenos, teorias e elementos dos modelos que deram origem à forma como hoje concebemos a óptica e às explicações sobre a visão e a luz.

Dos modelos de visão aos modelos de luz

Os dois modelos físicos atuais que agrupam uma ampla gama de fenômenos associados à entidade física chamada luz são: corpuscular e ondulatório. Para se chegar à síntese de como se apresentam esses dois modelos, percorreu-se um longo caminho que possivelmente iniciou-se na Grécia antiga com as teorizações sobre o cosmos e o homem de alguns filósofos gregos. Assim, este será o nosso ponto de partida pois nessa época tornaram-se conhecidos vários fenômenos associados à

luz e que, consequentemente, deram origem às teorias sobre a visão e a natureza da luz. No entanto, é relevante ressaltar que existem diferenças entre os modelos de visão e de luz, uma vez que o primeiro requer a intervenção de outras áreas do conhecimento como a anatomia, a neurologia, a física e a psicologia, entre outras.

A natureza da luz na Grécia antiga

Um dos historiadores que se encarregou de compilar as teorias sobre a luz e, em particular, o trabalho sobre refração foi Michel Authier (1989) que no texto “Refração e esquecimento cartesiano” faz uma análise histórica dos diferentes modelos de visão que surgiram ao longo da história desde os gregos e a refração como um fenômeno particular que conectava a natureza com o laboratório.

Voltando à ideia sobre modelos científicos, já foi mencionado que teorias e modelos respondem por uma porção da realidade ou do mundo, portanto, para compreender todos os elementos de um modelo, é necessário revelar a família de fatos que são agrupados sob o nome de refração. Assim, o próprio Kepler citado por Authier (1989, p. 287) caracteriza os seguintes fatos:

“Auroras com dedos rosados”, crepúsculos roxos, halos, glórias, múltiplos sóis e arco-íris que encantaram os poetas. Estrelas visíveis antes do tempo programado, desvios anormais das estrelas ou luas coloridas que por séculos surpreenderam os astrônomos. Oásis, palmeiras, cidades maravilhosas surgiram nas dunas; costas, faróis e navios visíveis de longa distância quando o tempo está quente, fenômenos há muito conhecidos por nômades e marinheiros.

Os fatos que o Kepler enumera são diversos e pode-se dizer que são cotidianos para a época e fazem parte de diferentes domínios como astronomia, com os desvios anormais das estrelas, o arco-íris e os fenômenos conhecidos pelos marinheiros. Essa gama de fatos se estabilizou (FLECK et al., 1986) até a constituição de uma teoria que reunia uma pluralidade de entidades e modelos. Não sem antes passar por várias controvérsias.

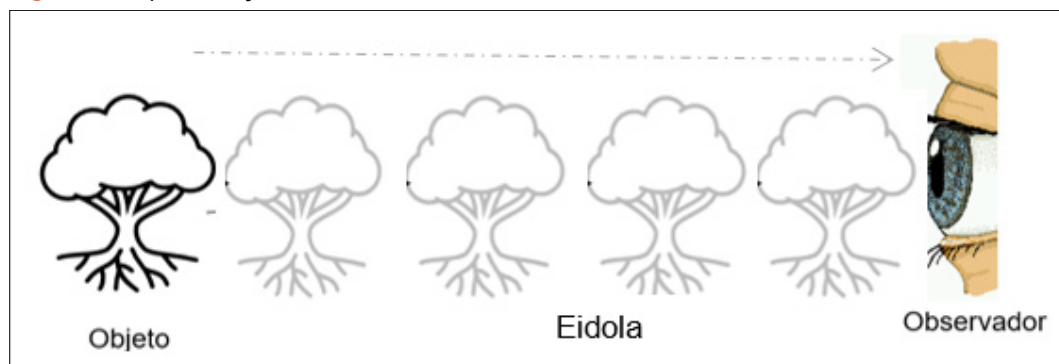
Os atomistas, que aparecem na Grécia antiga no século V a.C, com expoentes como Leucipo, Demócrito e Lucrécio, consideraram que os objetos são aqueles que manifestam sua presença por meio de uma entidade chamada eidola, que é uma espécie de sombra ou simulacro que penetra na retina e gera uma impressão de formas e cores. De acordo com Lucrécio, citado por Authier (1989)



Por isso é necessário que se confessem // as emissões das simulações // que ferem muitos olhos e produzem // visão [...] Temos tanta certeza // que todos os corpos enviam emissões // de si próprios continuamente // que rodam por todo o lado sem parar [...] e a imagem faz-nos ver // a distância entre as coisas porque ao sair impulsiona e sopra o ar // que faz a mediação entre a imagem e os olhos (Tito Lucrécio Caro, Sobre a natureza das coisas, Trad. Of Abbe Marchena, Espasa-Calpe, Col. Austral 1969 citado por AUTHIER, 1989, p. 289).

Abaixo se mostra a Figura 2 que representa a eidola que vai do objeto ao olho.

Figura 2: Representação modelo da visão atomista

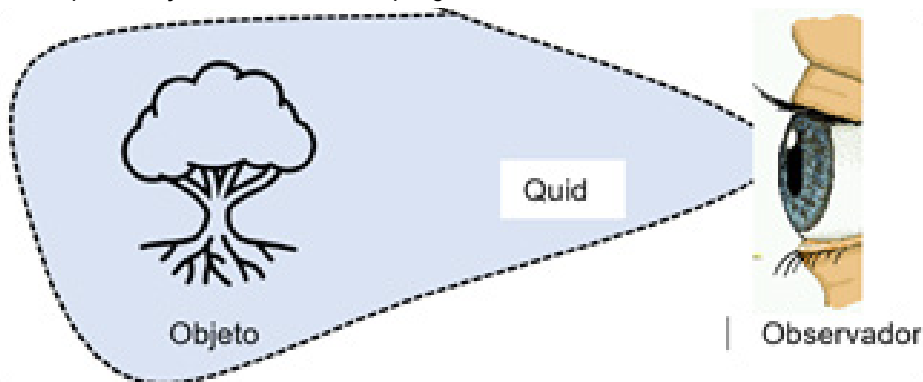


Fonte: autores.

O papel passivo do olho-observador é destacado em oposição ao papel ativo desempenhado pelo objeto. O olho tem o papel de receptor da imagem através da retina, havendo assim uma independência entre o objeto e o observador

Por outro lado, os pitagóricos que estabeleceram sua escola em Atenas, por volta de 388 a.C, postularam a existência de uma substância chamada *quid* que sai do olho e vai até o objeto para senti-lo (AUTHIER, 1987). Nesse caso, é o olho que tem o papel de transmissor do ponto crucial e o objeto não tem papel na visão. Segundo Authier, essa foi a concepção predominante por muito tempo, com adaptações como a de Aristóteles, que justifica a passividade de alguns órgãos como o ouvido e o nariz, em relação ao papel ativo do olho e do tato devido as formas côncavas e convexas, respectivamente.

A Figura 3 mostra a representação do modelo da visão dos pitagóricos.

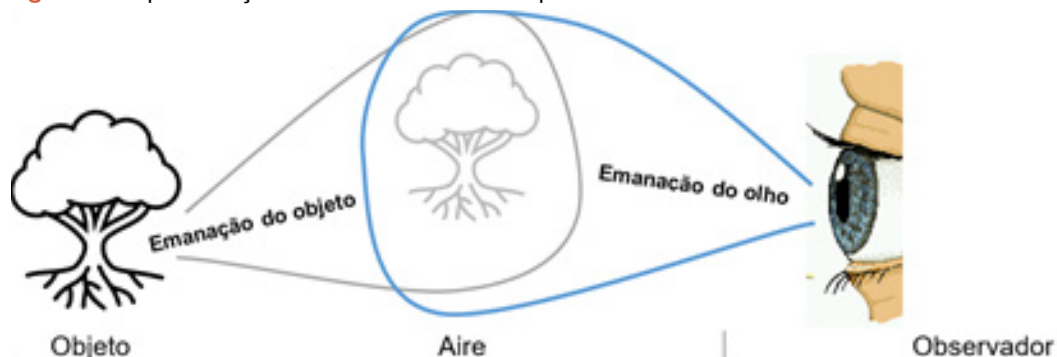
Figura 3: Representação modelo da visão pitagórico

Fonte: autores.

Empédocles (495 aC - 430 aC), por sua vez, dando continuidade à sua teoria, propõe que o encontro entre semelhantes ocorre no ar e se combinam transmitindo movimentos por todo o corpo à alma. O objeto e o olho têm um papel ativo, pois ambos são transmissores. Além disso, o ar entra para desempenhar um papel principal, pois é o meio no qual são encontrados “semelhantes”.

Quando a luz do dia envolve o raio visual, este transborda - o semelhante procura o semelhante - e com ele funde-se; um corpo único - combinado com o nosso - é constituído ao longo da linha que sai dos nossos olhos, onde quer que o fogo que surge do nosso interior encontre o que vem dos objetos externos [...]. Ele transmite os movimentos por todo o corpo para a alma, e dá-lhe aquela sensação em virtude da qual afirmamos ver (PLATÃO, TIMEU, citado por AUTHIER, 1989, p. 289).

A Figura 4 representa o modelo da visão do Empédocles:

Figura 4: Representação modelo da visão de Empédocles.

Fonte: autores.

Platão, considera que luz e visão são independentes. Seguindo a tradição pitagórico-platônica, adiciona novos elementos. Assim, para Platão, a discussão não se concentra na relação sujeito-objeto, mas na dependência que as teorias anteriores declararam entre luz e visão. Para ele a existência da luz ocorre independente da visão e, portanto, a relação com o conhecimento e a verdade pode ser justificada. No entanto, um elemento que ele adiciona ao modelo de visão dos pitagóricos é a presença da luz solar. Embora a fusão seja mantida como um processo necessário para produzir a imagem, é necessário que a fusão entre a emissão do olho e a luz solar ocorra. A este respeito, Rodrigues Neto (2013, p. 875) menciona:

A doutrina visual de Platão é mais elaborada do que essa versão simplificada e requer, ainda, que essa emissão a partir do olho – essa “mão visual” – sofra aquilo que a tradição denominou de “coalescência” (synauegia) com a luz do Sol (cf. Beare, 1906, p. 45, nota 1). Com isso, Platão parece multiplicar as entidades, uma vez que sua doutrina requer, ademais da emissão a partir do olho, uma emissão de luz a partir do Sol.

Aristóteles, ao debater as teorias anteriores, argumenta que nada pode emanar nem do olho nem do objeto, pois no primeiro caso seria possível ver dia e noite sem a presença de uma fonte de luz, ao passo que, na segunda, sempre seria possível encontrar um objeto, por menor e misturado que fosse. Assim, para ele o que existe é uma alteração do espaço intermediário que pressiona o olho e desaparece com a escuridão. Além disso, para Aristóteles, a ênfase está nas propriedades do espaço intermediário ao qual a propriedade de afetar o olho é atribuída. Nada emana do olho ou do objeto, mas é o ambiente que sofre uma alteração que o leva a afetar o olho, estabelecendo assim uma espécie de continuidade entre o olho-objeto-espaço intermediário. A luz aparentemente tem a propriedade de ser transparente, então o espaço intermediário também é transparente. Esta propriedade de ser transparente à luz caracteriza sua natureza. Da mesma forma, para ele, cor é o que o olho recebe, ou seja, é o “próprio sensível” da visão que é recebido em sua própria forma: o olho.

Até agora pode-se perceber que os diferentes modelos vindos dos gregos mostram uma riqueza na compreensão do fenômeno óptico e uma complexidade no tratamento dos fenômenos associados à luz e a visão intimamente ligada aos sentidos, ou seja, a sensação visual. Como Authier (1989) menciona “Uma pré-condição da visão, a luz é, no pensamento grego, o intermediário quintessencial entre o espírito e o mundo”. Isso explica a complexidade que está contida em cada um dos modelos que pretendem dar conta da luz e da visão, mas que unem elementos que hoje chamaríamos de fisio-

logia, filosofia, física e epistemologia. Desta maneira, as doutrinas filosóficas gregas que visavam descrever as formas como ocorre a sensação visual, desenvolvidas por teorias anteriores à Euclides, podem ser caracterizadas de acordo com (TOSSATO, 2005 citado por RODRIGUES NETO, 2013, p. 879) da seguinte maneira:

Todas essas doutrinas filosóficas centravam sua atenção nos processos físicos subjacentes à experiência visual, todas elas faziam diversas considerações a respeito da natureza do mundo e também a respeito da natureza do próprio órgão sensorial da visão – o que influenciou a tradição médica e suas considerações acerca da estrutura anatômica e das afecções do olho.

Aprofundando-se nas características dessas doutrinas e pensando em modelos científicos, é importante resgatar a obra do historiador norte-americano David Lindberg (1976), que fez uma classificação dessas doutrinas filosóficas, identificando duas categorias de explicação: extramissão e intromissão (LINDBERG, 1976). Na primeira considerou-se que a percepção visual é o produto da emissão do objeto que entra em contato com o olho, é o caso dos atomistas. Na segunda categoria, a explicação é baseada na emanção do olho e no contato com o objeto. No entanto, essas duas categorias deixam de fora os modelos híbridos (RODRIGUES NETO, 2013), pois, em qual categoria poder ia-se colocar as doutrinas de Demócrito ou Platão, por exemplo? O que chama a atenção para fins didáticos, no sentido de caracterizar as diferentes doutrinas, é questionar o caráter passivo/ativo do olho e sua relação com a luz. Uma condição necessária para “ver” é a fonte de luz, mas isso terá que esperar por posteriores desenvolvimentos.

A óptica geométrica dos gregos

Avançando nos modelos gregos, um nome pouco reconhecido na história da ciência é o de Arquitas de Tarento (430 aC - cerca de 360 aC), contemporâneo de Platão e pertencente à escola pitagórica. Ele é creditado com uma influência notável no trabalho de Euclides em óptica.

Retomando o raio e a propagação da luz a partir do modelo proposto por Arquitas de Tarento, Euclides inaugura a tradição da óptica geométrica e consegue aproximar a física da matemática, despojando o problema da visão de sua relação com os elementos (terra, água, ar, fogo, éter) e das sensações que ocorrem no sujeito (AUTHIER, 1989).



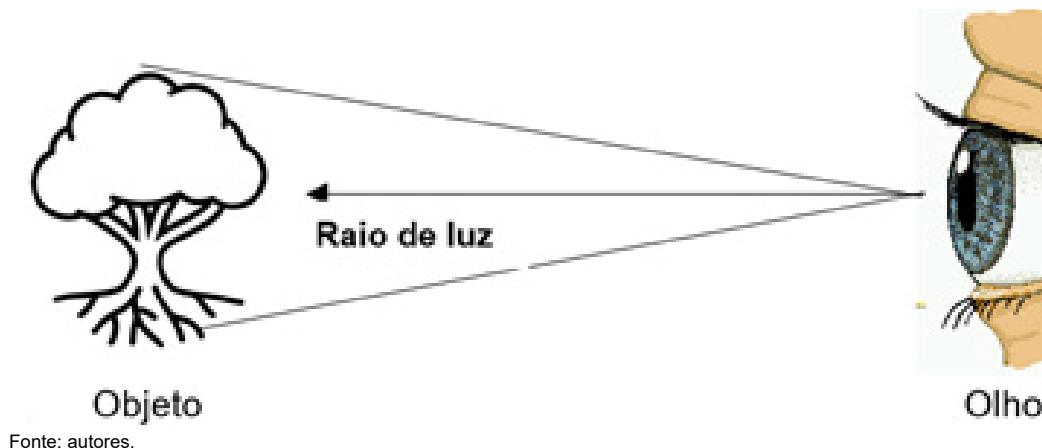
Os postulados de Euclides simplificam o modelo de visão em um único olho, um raio em uma direção e o cone visual que sai do olho e vai até o objeto, ligando elementos práticos que foram trabalhados na astronomia e na teoria das proporções geométricas. A seguir, resgatamos as definições que fundamentaram a Óptica de Euclides da tradução feita por Rodrigues Neto (2013, p. 894):

Definições: 1) Seja suposto que linhas retas traçadas a partir do olho atravessam uma distância de grande magnitude. 2) E que a figura contida pelos raios visuais é um cone, cujo vértice encontra-se no olho e sua base nos limites daquilo que é visto. 3) E que aquilo sobre o qual os raios visuais incidem é visto e aquilo sobre o qual os raios visuais não incidem não é visto. 4) E que, a partir de um ângulo maior, aquilo que é visto aparece maior, a partir de um menor, menor, e a partir de ângulos de visão iguais, igual. 5) E que, a partir de raios visuais mais altos, aquilo que é visto aparece mais alto, a partir de mais baixos, mais baixo. 6) E, similarmente, que, a partir de raios visuais mais à direita, aquilo que é visto aparece mais à direita, a partir de raios visuais mais à esquerda, é visto mais à esquerda. 7). Enfim que, a partir de um maior número de ângulos, aquilo que é visto aparece mais distintamente.

Destas definições os raios visuais e o cone visual se destacam e explicam o que Aristóteles chamou de “sensível comum”, ou seja, a forma, a distância, o tamanho e o movimento. Portanto, pode-se dizer que na óptica de Euclides estuda-se a percepção da forma e do tamanho, mas não se explica a cor.

A Figura 5 mostra uma representação do modelo visual de Euclides.

Figura 5: Representação do modelo de visão de Euclides



Fonte: autores.

A simplicidade do trabalho de Euclides configura o sucesso para a empresa astronômica, visto que foi a partir de sua teorização que pode-se explicar a relação

luz e imagem levando em consideração elementos matemáticos semelhantes ao cone, à linha reta e aos ângulos. Authier (1989, p. 291) menciona: “A luz perde toda a substância, os raios são governados por uma geometria elementar, um único olho participa da visão e o mundo é reduzido a uma representação visível da direita ou esquerda, de cima ou de baixo”.

O processo que Euclides descreve, embora despojado dos problemas da sensação visual, está inscrito na tradição platônica, onde o olho é ativo porque dele emanam raios visuais que atingem o objeto. Com os desenvolvimentos de Alhacén e Kepler, tal descrição se tornará o maior obstáculo desde que a falsidade da doutrina da extramissão é demonstrada. Segundo Rodrigues Neto (2013, p. 882), o que permite que a visão seja geometrizada é: “que a visão é definida por um “cone de raios visuais”, isto é, uma “figura geométrica” constituída por uma coleção de “linhas retas” divergentes, uma figura que tem como sua base aquilo que é visto e como seu vértice o olho, ou a origem da emissão ocular”.

Por fim, as contribuições do trabalho de Euclides para a óptica geométrica vão além da explicação da visão e configuram um caráter prático que é utilizado por pintores, arquitetos, entre outros, pois ao trabalhar com tamanhos, formas e distâncias, foi possível descrever uma óptica que considerou a posição do olho em diferentes pontos, ou seja, passou-se a ponderar a questão da relatividade visual.

Em síntese, frente aos modelos gregos da visão, reconhece-se três preocupações inerentes: 1) a natureza e a propagação da luz; 2) a formação de imagens; e 3) a cor. Da mesma forma, Rodrigues Neto (2013), retomando a obra de Gérard Simon (2003), afirma:

Como bem observa Gérard Simon, na óptica antiga, a luz jamais aparece como “protagonista” do processo visual (cf. Simon, 1988, p. 11, 22-25). Com efeito, a óptica antiga não se constituiu como uma “física da luz”, mas em uma “geometria da visão”, e a noção de “raio de luz”, tal como delineada na óptica moderna, jamais manifestou-se na ciência antiga. (cf. Simon, 2003, p. 20) citado por (RODRIGUES NETO, 2013, p. 882)

Sendo assim, pode-se inferir que ao longo da história foi definida a entidade física “luz”, delimitando o campo de fenômenos e problemas relacionados ela, a visão e “a luz foi descarregada dos problemas consideráveis que sua natureza apresenta, dividindo a óptica física em três: perspectiva, catóptrica e dióptrica” (AUTHIER, 1988). Portanto, embora a óptica, do ponto de vista grego, seja mais uma filosofia da visão, ela gerou contribuições importantes ao questionar o papel



do olho, o objeto, a fonte de luz por excelência que é o Sol e o papel do observador na sensação visual.

Contribuições de Alhacén para a óptica

Um dos físicos árabes que mais contribuiu para a construção de modelos sobre a luz e, em particular, para a óptica geométrica foi Alhacén (965-1040). Seus trabalhos no estudo do olho, visão e astronomia são reconhecidos porque ele retoma os postulados aristotélicos afirmando que “*no mecanismo visual tudo é refração*” e renova o problema da percepção, invertendo o modelo de propagação proposto por Euclides, isto é, passa de um modelo de extramissão para um modelo de intromissão de visão. González-cano (2015), afirma que a Óptica Alhaceniana funda a óptica que conhecemos hoje, pois apresenta a luz como agente físico protagonista e consegue unificar campos tão diversos como astronomia, anatomia do olho, fenômenos atmosféricos, doenças oftalmológicas, entre outros. Portanto, é possível considerar suas contribuições como uma verdadeira revolução na óptica. Tal reconhecimento pode ser vislumbrado por meio da seguinte citação que Sabra (1989) citado por González-cano (2015) retoma de Alhacén (1028-1038):

Fica assim evidente que o olho não percebe nenhum objeto visível que não contenha alguma luz, seja ela própria ou proveniente de outro objeto (...). Devemos agora investigar as propriedades da luz e seu modo de radiação, e então estudar o efeito da luz na visão. A isso devemos então adicionar o estudo do olho, a fim de, por meio de um raciocínio cuidadoso, prosseguir em nosso caminho para a conclusão (SABRA, 1989 citado por GONZÁLES-CANO, 2015, p. 6).

Alhacén estudou as obras de Ptolomeu, Euclides e Galeno e propôs uma nova forma de investigar os fenômenos ópticos em seu livro *Kitab al-Manazir*, que posteriormente foi traduzido e divulgado sob o nome de “perspectiva” (GONZÁLEZ-CANO, 2015), no qual detalhou uma série de observações experimentais que tratam do problema da visão e da interação do olho com a luz. A análise física da luz e o uso de elementos matemáticos para modelar as interações dos raios com o olho são elementos que se destacam em seu trabalho. Nesse sentido, a abordagem pontual que propôs é fundamental para passar da extramissão à intromissão. O que se segue são observações extraídas do trabalho de Sabra (1989) citado por González-cano (2015, p. 10) que mostram o quadro dos fatos estabilizados na óptica até o trabalho de Alhacén:

- a) Primeiro, deve haver uma certa distância entre o olho e o objeto. Não há visão se houver contato direto com o olho, embora o objeto seja visível e, como tal, típico da percepção visual, só há visão se o objeto for colocado na frente do olho, de forma que uma linha reta possa ser tirada de cada ponto do objeto para o olho, e desde que não haja obstáculos opacos que interrompam essas linhas imaginárias
- b) A visão não percebe nenhum objeto visível, a menos que haja naquele objeto alguma luz, seja ela própria, ou proveniente de algum outro objeto que irradia sobre ele. Se o objeto for escuro e não tiver luz, não pode ser visto a olho nu.
- c) Se o olho está localizado em um local escuro, ele pode perceber os objetos à sua frente se estiverem iluminados, desde que a atmosfera intermediária seja contínua e não haja obstáculos opacos, mas se o objeto estiver em um local escuro onde não há luz e o olho está localizado em um lugar iluminado, o objeto não pode ser percebido. E este estado de coisas é sempre mantido sem qualquer variação.
- d) Que o objeto visível tem um determinado tamanho, já que não se percebem objetos extremamente pequenos, como (diz ele, por exemplo) a pupila do olho de um mosquito, de cuja existência não teríamos que duvidar.
- e) Corpos dotados de uma certa opacidade, além disso, apresentarão uma certa cor (como uma qualidade visível, uma propriedade diretamente acessível a olho nu), o que pode não ocorrer em meios totalmente transparentes, que, portanto, permanecem invisíveis.

A análise rigorosa de cada um desses elementos foge ao propósito deste artigo. Contudo, torna-se pertinente destacar três dados que apresentam elementos resgatados da experiência: a) a imagem formada é ponto a ponto, portanto, não é um raio visual único, mas raios múltiplos, b) o papel da fonte de luz para que a visão ocorra, c) os limites físicos da visão e as propriedades dos corpos e do meio. Assim, a relação olho-fonte-objeto está sendo configurada a partir de uma perspectiva de intromissão.

Na mesma linha, ao estudar o olho e se perguntar sobre a percepção da imagem, ele reconhece na refração (sem usar o termo) uma forma de explicar a deflexão dos raios de luz. O trabalho de Alhacén é rigoroso no que diz respeito a mostrar evidências empíricas do raio de luz como uma entidade física, já que até então o raio visual era compreendido como uma representação geométrica funcional. A



esse respeito, Authier (1989) menciona uma observação que Alhacén faz sobre o movimento e a velocidade da luz em diferentes meios: “As luzes que se propagam por corpos transparentes o fazem com um movimento muito rápido, inestimável por sua velocidade. Porém, seu movimento através de corpos magros, ou seja, diáfanos, é mais rápido do que seu movimento em corpos grossos”

Depois de estudar as características da luz ao passar por diferentes meios e mostrar a existência física do raio e seu caráter retilíneo através do estudo da velocidade em diferentes meios, ele se concentra em como o olho reage à luz por meio da dor (GONZÁLEZ-CANO, 2015). Retomando os estudos e modelos de visão de Galeno, ele estabeleceu um modelo do olho no qual todos os elementos têm uma forma esférica e seus centros estão em um eixo que passa pelo centro da pupila. Assim, para Alhacén os raios de luz entram no olho e é o cristalino que faz o trabalho de formação da imagem. Isso será corrigido posteriormente no trabalho de Kepler, pois ele verificará que é na retina onde a imagem é formada. Porém, ao enfatizar a refração que ocorre no olho, ele estabelece o problema fundamental que será abordado posteriormente pela óptica geométrica e a fisiológica (AUTHIER, 1988, p. 294).

Para explicar a formação da imagem dentro do olho, ele usa a refração e a seleção de um único raio de luz que entra no olho e é capaz de gerar o estímulo. González-cano (2015, p. 11) menciona:

de cada ponto do objeto a cada ponto da lente haverá apenas uma trajetória que pode alcançar tendo cruzado todas essas superfícies perpendicularmente, e uma réplica do objeto pode ser recomposta na lente, salvando assim o esquema de perspectiva e recuperando o cone visual, agora formado pelos raios de luz que entram no olho

Como pode-se observar, essa óptica está muito longe de suas antecessoras, pois foi recoberta por uma estrutura matemática e entidades físicas que modelam o fenômeno da visão. Isso, longe de ser uma simplificação do problema da visão, representa uma mudança na forma como o problema em si é colocado, o que mostra que a ciência não é cumulativa nem linear. Nos trabalhos desenvolvidos até então o problema foi se transformando e tornando-se mais complexo, pois apesar das relações com outros elementos como as sensações, o espírito, entre outros, tenha sido deixadas de lado, os vínculos com a matemática, a astronomia, a fisiologia e os meios pelos quais a luz se move, têm efeitos diferentes. Esta será a estrutura óptica mais robusta e na qual o trabalho de Kepler em particular será baseado.

A câmera escura: pensando a tecnologia e sua relação com a ciência

Conforme discutido até o momento, aos poucos foi se transformando a forma de abordar o problema da visão e os fenômenos que se enumeram nas relações luz-visão. Nesse sentido, o desenvolvimento de técnicas de vidro e o uso de lentes convergentes no século XIII para corrigir problemas de visão, os trabalhos de Della Porta (1535-1615) com a câmera escura e os de Kepler (1571-1630) em astronomia com o desenvolvimento de telescópios e na óptica, contribuíram para essas transformações e para a consolidação do campo da óptica geométrica. Este caminho trilhado por diferentes grupos, como filósofos, artesãos, pintores, astrônomos, matemáticos, entre outros, possibilitou o estabelecimento de um modelo que tem na sua base uma entidade física com um “pé” na representação matemática e outro no mundo físico. Assim, o modelo de raio visual de Euclides foi transformando-se em raio de luz com o trabalho de Alhacén, tornando a luz a entidade principal da visão. Essa mudança é talvez uma das mais notáveis na Óptica.

Entretanto, esta mudança precisa ser complementada por uma reflexão sobre o papel da tecnologia a partir de uma dimensão humana, na qual a tecnologia constitui o homem, visto que atravessa a existência humana como fonte de resolução de problemas e transformação da natureza para fins sociais (THOMAS; FRESSOLI; LAFOUF, 2008). Assim, o papel da câmera escura e do vidro para a produção de lentes e telescópios na construção da fenomenologia na óptica e no desenho de instrumentos ópticos foi muito importante. Em princípio, teremos que dizer que o fenômeno da câmera escura recebe o mesmo nome do artefato que evoluiu para se tornar um dispositivo portátil.

Assim, considerando as contribuições de Hugues (2008), pensar no artefato, ou seja, a câmera escura, implica também perguntar sobre o sistema tecnológico por trás, isto é, seus componentes, organizações, outros artefatos associados e os problemas superados, pois os sistemas tecnológicos são socialmente construídos e configuram a sociedade (HUGUES, 2008). Nesse sentido, é possível que Alhacén utilizasse a câmera escura para fins astronômicos e científicos, mas quando chegou à Itália, os pintores renascentistas a utilizaram para criar suas pinturas e estudar perspectiva, cores e sombras. Segundo Tossato (2007), que *astrônomos e ópticos tinham um grande interesse pelo funcionamento e uso da câmara escura, o que os conduziu a associarem este instrumento com o olho*, o que pode nos dar uma ideia



dos grupos sociais que estiveram por trás da estabilização da analogia entre o olho e a câmera escura.

Kepler, fez parte de tais grupos sociais e foi um estudioso da mecânica celeste (entendida como os problemas do movimento) sob o pressuposto das leis de causa e efeito, que realiza o giro do olho como um dispositivo mecânico. No enfoque kepleriano o olho é um artefato mecânico que recebe informações, os raios de luz, e atua sobre eles segundo as suas características, isto é, de acordo com as funções de cada um dos seus componentes (partes do olho) e da relação entre eles. Assim, no modelo de olho kepleriano, é analisada a quantidade de raios que entra pela pupila e como esses raios passam ao interior do olho, por refrações de cada raio: a primeira na córnea e a segunda no cristalino, obtendo-se a imagem: a pintura do objeto na retina (TOSSATO, 2007, p. 490).

Estabelecendo a analogia olho-câmera escura

O princípio da câmera escura foi estudado por Aristóteles (384-322 aC), Mo Tzu (468-376 aC), Al-Kindi (795-873) e Alhacén (965-1040), mas este último foi quem recebeu o crédito por sua invenção como artefato. O próprio Alhacén reconheceu que a produção de imagens invertidas, recolhidas por um ecrã localizado numa sala escura, após a passagem da luz por um pequeno orifício, já era bastante conhecida, razão pela qual a sua utilização para o estudo do mecanismo da visão talvez seja sua maior contribuição (Fraga, 2016). Considera-se também que os estudos que desenvolveu com a câmera escura se devem ao seu interesse pela astronomia, já que se sabe que ela servia de instrumento para observar eclipses e que também foi utilizada para comprovar que raios de luz e cores não se misturam no meio que passam. Observemos um trecho da obra de Alhacén (1040) a esse respeito, retomado por Cardona (2020, p. 379):

A evidência de que a luz e a cor não se misturam no ar ou em [outros] corpos transparentes é [encontrada] no fato de que, quando várias velas estão localizadas em vários lugares diferentes na mesma área, e quando todas elas estão voltadas para um janelas que dá acesso a uma cavidade escura, e quando há uma parede branca ou corpo [outro] opaco [branco] voltado para a janela na cavidade escura, as luzes [individuais] dessas velas aparecem individualmente no corpo ou na parede de acordo com o número de tais velas; e cada uma dessas [manchas de luz] aparece diretamente em frente a uma vela [particular] ao longo da linha reta que passa pela janela. Além disso, se uma vela for coberta, apenas a luz oposta à vela será apagada, mas se o obstáculo que ela cobre for levantado, a luz retorna.

Ao chegar à oeste a câmera escura passa por modificações em seu uso e mecanismos, por exemplo, acredita-se que Da Vinci (1452-1519) foi o primeiro a adicionar uma lente ao orifício da câmera escura para melhorar a nitidez da imagem e postular a analogia entre a câmera escura e o olho. Com Della Porta e sua obra *Magia Naturalis* (1558), amplamente difundida, popularizou-se o uso da câmera escura na ciência, na arte e como brinquedo.

Aristóteles havia mencionado alguns problemas com relação à imagem que é coletada quando a luz passa por um orifício com formas retangulares ou poligonais. Isso também pode ser notado em um eclipse solar sendo um dos mais belos fenômenos que podem ser testemunhados em poucos minutos. Abaixo está uma fotografia tirada em 11 de agosto de 1999 no campus da Northwestern University em Evanston, Illinois, intitulada “Eclipse In The Shade”:

Figura 6: Eclipse



Fonte: In The Shade Credit and Copyright: E. Israel.

<https://apod.nasa.gov/apod/ap990813.html>.

Justamente, o próprio Da Vinci, ao explorar o funcionamento da câmera escura, menciona que:

Eu digo que se a frente de um edifício - ou qualquer praça aberta ou campo - que é iluminada pelo sol tem uma morada oposta a ela, e se, na frente que não está voltada para o sol, você faz um pequeno buraco redondo, todos os objetos iluminados projetarão suas imagens por aquele orifício e serão visíveis no interior da habitação na parede oposta que pode ser branca; e lá, de fato, eles ficarão de cabeça para baixo, e se você fizer aberturas semelhantes em vários lugares na mesma parede, terá o mesmo resultado em cada um. Consequentemente, as imagens dos objetos iluminados estão todas em toda parte nesta parede e todas em cada parte mais ínfima dela. A razão, como bem sabemos, é que este orifício deve admitir alguma luz à dita habitação, e a luz por ele admitida provém de um ou mais corpos luminosos. Se esses corpos são de várias cores e formas, os raios que formam as imagens são de várias cores e formas, e o mesmo ocorre com as representações na parede. (Tomado de *The Notebooks of Leonardo da Vinci* e editado pelo Jean Paul Richter, 1880.¹).

Na verdade, Steadman, (2011) afirma que Caravaggio, Canaletto e Vermeer pintaram com a ajuda da câmera escura. Portanto, não é raro que em diferentes textos de Leonardo Da Vinci, observaram-se análises da perspectiva e do funcionamento da câmera escura e do olho e portanto que historiadores como Vasco Ronchi (CARDONA, 2020) lhe atribuem ser o primeiro a estabelecer a relação entre o funcionamento do olho e esse fenômeno, que por sua vez é um dispositivo. No manuscrito D, Leonardo Da Vinci descreve algumas ideias sobre o funcionamento do olho e a formação da imagem. Muitas dessas são similares às encontradas na obra de Alhacén, que os historiadores acreditam ter sido difundida através das obras de Bacon e Vitelo.

Para estabelecer a analogia do funcionamento do olho com a câmera escura, é necessário determinar a correspondência entre os elementos, neste caso, a pupila atua como o orifício por onde passa a luz na câmera escura. Porém, mesmo para Da Vinci, a imagem não é coletada na retina, por isso ele elabora diferentes explicações para a recepção da imagem pelo nervo óptico através do cristalino. Um problema relevante a esta temática está relacionada com a inversão da imagem obtida, sob o qual surgem questionamentos, dentre eles: Como a imagem é invertida, depois de entrar no olho, para que percebamos o objeto na posição correta? Tal problemática foi objeto de suas reflexões acerca da dupla inversão no olho. Da Vinci é reconhecido por suas imagens e modelos anatômicos do corpo humano, com os quais, neste tratado, alguns de seus comentários são acompanhados de desenhos. A seguir apresentamos

um destes comentários, resgatado de Cardona (2020, p. 165) em que Da Vinci tenta explicar o funcionamento da pupila e da esfera cristalina:



FIGURA 15. (TP §78)

A necessidade previu que todas as imagens (spetie) de objetos na frente do olho se cruzam em dois lugares. Uma dessas interseções ocorre na pupila, a outra na esfera cristalina; caso contrário, o olho não seria capaz de ver tantas coisas quanto vê [...] nenhuma imagem (spetie), mesmo do menor objeto, entra no olho sem ser invertida; mas ao penetrar na esfera cristalina ela reverte novamente, e assim a imagem (spetie) aparece à direita dentro do olho, como o objeto estava à direita fora do olho ». (tp §78).

Desta forma, a partir dessas discussões, observou-se algumas problemáticas que devem ser levadas em consideração para que a analogia do olho e da câmera escura seja aceita, estabelecendo-se em um modelo que tem uma parte no mundo real e outra na teoria.

Kepler e seu estudo sobre a imagem no olho

O trabalho de Kepler tem um interesse especial, pois consegue ligar a astronomia, a visão e a refração da luz e gerar uma teoria sobre tais conteúdos. A esse respeito, Authier (1989) menciona: “Sua obra é um grande caldeirão onde todas as teorias herdadas são mexidas: “Fiz este trabalho imenso e austero atingindo o núcleo de questões abandonadas há séculos, cada uma das quais poderia compor um livro particular” Kepler, citado por Authier (1989). Em seus estudos, Kepler faz questionamentos sobre o problema da visão, rejeitando alguns postulados de Bacon e Galeno e discutindo o que, até então, havia se estabelecido como um modelo geométrico válido de visão. Deve-se mencionar tal trabalho em óptica foi relevante para o Kepler na solução de problemas astronômicos, como a diminuição do diâmetro da lua em conjunção e seu aparente diâmetro maior em oposição ao sol, e isso leva a uma mudança de foco na óptica que acabariam demarcando seu campo de ação. Crombie, (1991) citado por Tossato, (2007, p. 89) afirma: “ninguém tinha tratado com a suposição essencial que a fisiologia ocular funciona como uma explicação imediata da percepção visual; entendiam que ver um objeto é ver apenas o que está presente na imagem formada no olho”.

Antes de iniciar a análise das principais contribuições da teoria da visão Kepler e da delimitação da óptica, é importante apontar as seguintes dificuldades que

retomamos de Cardona (2020) para estabelecer a analogia entre o olho e a câmera escura que também foi objeto de estudo em sua obra e para a qual lhe é atribuído o desenvolvimento da ideia do olho como instrumento de visão, como sistema mecânico: 1) Uma solução matemática para prever / explicar a formação de imagens quando a luz passa por pequenos orifícios 2) uma lei quantitativa precisa para prever o comportamento da luz ao passar por meios transparentes 3) A entidade que recebe a imagem variável de objetos externos ao olho e a forma como mostra essa variação.

Agorá, o “Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur” ou simplesmente Paralipomena foi escrito e publicado pelo Kepler em 1604 e consiste em cinco livros que tratam da luz, a câmera escura, a catóptrica, a dióptrica e o modo de visão (TOSSATO, 2007). Um dos problemas que ela levanta e que reflete a intenção de levar o problema da visão para a mecânica é o seguinte: “Numa câmara fechada [escura], e contra uma parede interposta, represente tudo o que está fora e oposto à câmera” (*Paralipomena* 67; *gm* 55). Em seu estudo, são constatados que a imagem projetada na parede da câmera depende do tamanho e formato do orifício, bem como da forma e da distância do objeto da fonte (TOSSATO, 2007). Ao analisar a anatomia do olho, em seu livro V, ele reconhece que a pupila é a encarregada de inserir os raios visuais no olho, mas a maior mudança no que diz respeito à tradição Galena e aos trabalhos de Alhacén é determinar que a retina é aquela que se conecta com o nervo óptico, portanto não é o cristalino o responsável por coletar a imagem formada no olho. A esse respeito Tossato (2007) traz um recorte das reflexões de Kepler:

Se se coloca um eixo passando pelo centro da abertura da coróide no nervo óptico, os centros dos círculos do cristalino estarão sobre esse eixo; assim, têm-se razões para dizer que o cristalino está no centro do olho, se se entender que o olho está cortado por um plano perpendicular ao eixo, e que o centro do olho é o centro do círculo. Mas em relação ao conjunto da forma globular do olho, o cristalino situa-se mais à frente de um tal eixo. O cristalino está mais afastado do término do nervo óptico, e está mais para a abertura da coróide, que é muito menor que a abertura da córnea (Kepler, 1938 [1604], p. 151; 1980 [1604], p. 316).

Tal constatação não só determinou uma mudança na compreensão da anatomia e da funcionalidade do olho e de suas partes, mas também marcou o limite da óptica, uma vez que a retina se estabelece como o limite entre a óptica e outras ciências associadas à percepção. Nas palavras do próprio Kepler citado por Tossato, (2007):

Digo que há visão quando uma representação de todo o hemisfério do mundo, situado diante do olho [...] fixa-se sobre a parede branco-rosácea da superfície côncava da retina. Deixo para os filósofos naturais discutirem o modo pelo qual essa representação ou pintura une-se aos espíritos visuais que residem na retina e no nervo, e se ela é levada por esses espíritos para o interior das cavidades do cérebro.

Continuando com as contribuições para a teoria da visão de Kepler, ele usa a ideia de cone visual proposta a partir de Euclides, mas desta vez estabelecendo um cone duplo e invertendo o vértice, do cone, ou seja, agora o vértice está localizado no objeto e a base no olho e isso ocorre com cada um dos pontos do objeto. Assim, o segundo cone divide a base com o primeiro cone e localiza seu vértice em um ponto da imagem gerada na tela. Cardona, (2020), menciona que Kepler consegue estabelecer o que chama de teorema fundamental da óptica e com isso completa a analogia entre o olho e a câmera escura, ou seja:

Eu digo que esta pintura [aquela coletada na retina] consiste em tantos pares de cones [conorum] quantos pontos no objeto visto. Esses pares têm a mesma base, a amplitude do humor cristalino, ou uma pequena parte dele, então um dos cones é arranjado com seu vértice no ponto visto e sua base na lente (embora isso seja ligeiramente afetado pela refração que ocorre na córnea), enquanto o outro tem a base na lente, semelhante ao primeiro cone, e o vértice em algum ponto da pintura atinge a superfície da retina, após sofrer refração originada da lente (Paralipomena 182; gm 153).

Suas análises do comportamento dos raios dentro do olho mostram o papel da refração e da lente nos processos de refração dupla. É notável nessas análises o uso da geometria para explicar o comportamento do feixe de luz dentro do olho, pois para o Kepler, a luz não tem massa e sua velocidade é instantânea, portanto, não “toca” as partes do olho.

O trabalho de Kepler é retomado anos depois por um holandês chamado Willebrord Snell (1591-1626), que propõe a lei da refração da luz e que pressupõe uma virada radical do problema da refração, pois seu foco passa de: ¿que fenômenos são produzidos pela refração? A ¿O que produz a refração?

Para finalizar esta mirada mecanicista da luz na que trabalha Kepler, retomamos o trabalho de Dióptrica de Descartes onde postula o que entende por luz por meio de três metáforas diferentes a) o bastão, b) o fluido e c) minúsculas esferas em movimento constante (Authier, 1988). Este último avança em direção a uma explicação mecanicista da luz que era o desejado por Kepler. A esse respeito, vejamos:

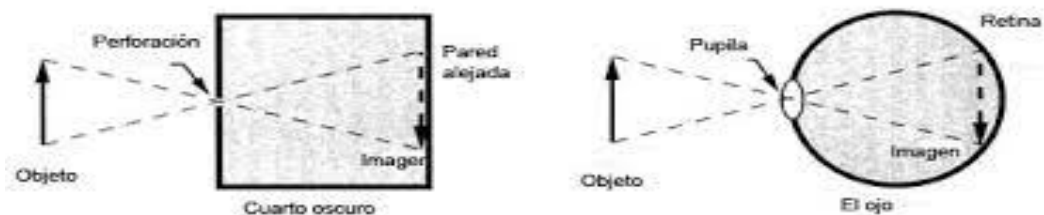
Por fim, enquanto a ação da luz obedece às mesmas leis do movimento desta bola, deve-se dizer que quando seus raios passam obliquamente de um corpo transparente para outro, ela os recebe com mais ou menos facilidade do que o primeiro e há uma inclinação inferior na parte da superfície onde se encontra o corpo que os recebe mais facilmente do que na parte onde está o outro; e na mesma proporção que aquele que os recebe mais facilmente o faz o outro. Basta atentar para o fato de que essa inclinação deve ser medida pelo número de retas como CB ou AH e EB ou IG [...]. Pois a razão, ou proporção, que existe entre as linhas AH e IG ou, semelhante, permanece a mesma em todas as refrações causadas pelos mesmos corpos (AUTHIER, 1988, p. 309)

Tal compreensão também aparece nas obras de Newton e Huygens, que abordam o problema da refração, cores e velocidade da luz, desde uma postura mecanicista e geométrica, e pode ser explorada nos trabalhos de Alvarado (2017) e Cerquera e Garcia (2016).

Até agora foi visto que os fenômenos que foram coletados para estabelecer um conjunto de fatos físicos, vêm da astronomia, fenômenos cotidianos, anatomia, arte, e outros que geraram a construção de dispositivos ópticos como a câmera escura e o telescópio, sempre com a procura de explicar e delimitar um modelo que explique como vemos e que derivou no comportamento da luz ao passar de um meio para outro. No entanto, outros problemas e fenômenos permanecem de fora.

Conclusões

Voltando ao conceito epistemológico de analogia (ADURIZ-BRAVO, 2005) que é entendida como recurso do pensamento e da linguagem para a criação de significados, é possível analisar os elementos necessários para consolidar a analogia do olho como câmera escura. Nesse sentido, o modelo analógico olho-câmera escura exigia a construção da correspondência entre os elementos dos dois campos (fonte e alvo), em termos de estrutura e funcionalidade. A seguir, usamos a Figura 7 para mostrar a correspondência entre os elementos:

Figura 7: Representação da analogia entre o olho e a câmera escura

Fonte: <https://www.emaze.com/@AOLORWOCO>.

A correspondência entre a estrutura da câmera escura e o olho começa com a pequena perfuração e a pupila, logo é necessário verificar se o olho é um “quarto escuro” e se há algo dentro do olho, no caso a retina, que funciona como a parede que coleta a imagem. Da mesma forma, deve-se garantir que o objeto esteja localizado na frente da pupila-perfuração e esteja iluminado.

Pelos aspectos funcionais, a imagem que se coleta na tela aparece invertida, o que gera um problema de explicação da visão, pois o duplo investimento que exige a direção em que vemos os objetos gera dificuldades no modelo e a questão: Como obtemos uma imagem correta do objeto? Isso mostra os limites do modelo analógico. Por outro lado, ao adicionar uma lente na câmera escura, é possível melhorar a nitidez da imagem, o que também geraria correspondência com meios transparentes, como o cristalino e a córnea, que se encontram no olho.

Também podemos perceber a influência de outros grupos sociais como os artistas no trabalho de Kepler, pois para ele o que vemos é uma pintura, ou seja:

A noção de “pintura” kepleriana como expressão da imagem formada na retina relaciona-se analogamente com as técnicas de perspectiva dos pintores renascentistas. Para estes, uma pintura é a representação do que o artista vê, respeitando a distância em que este está de um tema e o local para o qual se dirige a visão do artista (“ponto de vista” e “ponto de fuga”, respectivamente; cf. TOSSATO, 2005).

Por último, a história da óptica é extensa e cheia de detalhes que nos mostram como a ciência se desenvolve por meio de controvérsias, da comunicação entre cientistas e da necessidade de explicar, prever e criar fenômenos e sua correspondência com os modelos sempre contingentes. Longe de pretender ser exaustivo na apresentação dos modelos, o que se evidencia é a demarcação dos fenômenos e a estabilização dos factos que dão origem a um modelo teórico. Isso exigiu, como dissemos no início, ter um pé na teoria e outro no mundo real, que é de onde se extraem a maior parte

dos fenômenos que na Grécia antiga e na Idade Média deram origem a importantes explorações sobre a luz, a refração e a cor. Por outro lado, o desenvolvimento de dispositivos ópticos para melhorar a visão, utilizando analogias com a natureza e o corpo humano, gerou uma série de novos fenômenos que tiveram que ser classificados e compreendidos. Assim, pode-se pensar que um ensino de óptica precisa focar nas interações entre visão e luz, reconhecendo a riqueza de fenômenos e problematizações que em sala de aula mostrem uma imagem da ciência dinâmica e humana.

Agradecimentos

Os autores agradecem a leitura e revisão crítica realizada pela Ma. Jéssica dos Reis Belíssimo.

Reconstructing some models about light and view from the History of Science

Abstract

Throughout history there have been woven conceptions about light and vision that are evident in fields as diverse as physics, theology, psychology, biology, among others. This has implied the development of technologies with diverse applications, while at the same time new understandings have been reached and other phenomena have emerged. The fundamental objective of this article is to take a tour through some models of light and vision that have been collected from the history of optics, giving special attention to refraction. Likewise, it brings a brief discussion of technology and its relationship to science by analyzing the role of the camera obscura as an analog to the eye, expanding the understanding of the mechanism of vision and showing a range of applications from fields as diverse as painting. In conclusion, the history of optics is extensive and full of details that show us how science develops through controversies, communication between scientists, and the need to explain, predict, and create phenomena. Far from claiming to be exhaustive in the presentation of models, what is evident is the demarcation of phenomena and the stabilization of facts that give rise to a theoretical model. Finally, some contributions are suggested for teachers from a perspective of the nature of science and technology that can be considered in the classroom.

Keywords: History of optics, vision models, refraction, dark camera, teaching optics.

Nota

¹ Tomado de <https://www.fromoldbooks.org/Richter-NotebooksOfLeonardo/section-2/item-70.html> e consultado o 20 de julho de 2021.

Referências

- ARIZA, Y.; ADÚRIZ BRAVO, A. **Qué Son Los Modelos Científicos:** introduciendo La Escuela Semanticista En La Didáctica De Las Ciencias Naturales. II Congreso Internacional y VIII Nacional de Investigación En Educación Pedagogía y Formación Docente, 2012. p. 1134–1150.
- ADÚRIZ-BRAVO, A.; MORALES, L. El concepto de modelo en la enseñanza de la Física-consideraciones epistemológicas, didácticas y retóricas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 1, p. 79-91, 2002.
- AUTHIER, M. La refracción y el olvido cartesiano. In: SERRES, M. (Coord.) **Historia de las Ciencias**. Cátedra. 1991. p. 287-312.
- BRAVO, B.; PESA, M.; POZO, J. I. Los modelos de la ciencia para explicar la visión y el color: las complejidades asociadas a su aprendizaje. **Enseñanza de las Ciencias:** revista de investigación y experiencias didácticas, v. 28, n. 1, p. 113-126, 2010.
- CARDONA, C. A. Leonardo Da Vinci y la compración ojo-cámara oscura. **Ideas y Valores**, v. 69, n. 174, p. 143-171, 2020.
- CERQUERA, M. Y.; GARCÍA, E. G. Estudios histórico-críticos sobre la óptica. **Implicaciones pedagógicas**, p. 1-15, 2016.
- DA CRUZ SILVA, B. V.; MARTINS, A. F. P. A natureza da luz e o ensino da óptica: uma experiência didática envolvendo o uso da história e da filosofia da ciência no ensino médio **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 2, p. 71-91, 2010.
- DE DANON, M. P.; CUDMANI, L. Paralelismo entre los modelos precientíficos e históricos en la óptica-implicancias para la educación. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 10, n. 2, p. 128-136, 1993.
- EUCLIDES. Óptica. **Scientiae Studia**, v. 11, n. 4, p. 893-936, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-31662013000400008>.
- FLECK, L.; SCHÄFER, L.; SCHNELLE, T.; MEANA, L. **La génesis y el desarrollo de un hecho científico:** introducción a la teoría del estilo de pensamiento y del colectivo de pensamiento. Madrid: Alianza. 1986.
- FRAGA, F. The obscure origins of the camera obscura: Alhacen and his predecessors. **EGA Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica**, v. 21, n. 28, p. 82-91, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4995/ega.2016.6050>
- GAGLIARDI, M.; GIORDANO, E.; RECCHI, M. Un sitio web para la aproximación fenomenológica de la enseñanza de la luz y la visión. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 24, n. 1, p. 139-146, 2006.
- GONZÁLEZ-CANO, A. **Ibn al-haytham:** an optical revolution. *Arbor-Ciencia Pensamiento y Cultura*. (775), 2015.
- HERNÁNDEZ SILVA, C.; IZQUIERDO AYMERICH, M. Formaciones semióticas en libros de texto: uso de modelos para interpretar fenómenos ondulatorios. **Enseñanza de las Ciencias**, v. extra, p. 3881-3888, 2017.
- RODRIGUES NETO, G. Euclides e a geometria do raio visual. **Scientiae Studia**, v. 11, n. 4, p. 873-892, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-31662013000400007>.



NEWTON, I.; SOLÍS, C. **Optica o tratado de las reflexiones refracciones inflexiones y colores de la luz/sir Isaac Newton**: introducción, traducción, notas e índice analítico. Carlos Solís. 1977.

SOLBES MATARREDONA, J. **Indagación sobre la visión**. Colección Aulas de Verano. Serie Ciencias. Ministerio de educación secretaria de estado de educación y formación profesional. Instituto de Formación del Profesorado, Investigación e Innovación Educativa (IFIIE). 2011.

STEADMAN, P. **Vermeer y la cámara oscura**, 2011. Disponível em: <http://www.arauco.org/sapereaude/print/vermerylacamaraoscura.pdf>

TOSSATO, C. R. Os fundamentos da óptica geométrica de Johannes Kepler. **Scientiae Studia**, v. 5, p. 471-499, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-31662007000400003>.

O uso da argumentação na acepção de Stephen Toulmin articulado à abordagem histórico-epistemológica com enfoque no aluno: um caminho possível para construção da aprendizagem em relatividade

Maria Derlandia de Araújo Januário*, Neusa Teresinha Massoni**

Resumo

Apresentamos uma proposta de investigação e intervenções no campo temático da História, Filosofia e Sociologia da Ciência articulada a um tema de Física Moderna e Contemporânea (FMC) tendo como público alvo estudantes da Escola Básica e seus professores em atividade, que será desenvolvida no curso de doutorado de um Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. São dois os objetivos principais da proposta: contribuir para uma educação científica que valorize e integre aspectos da História e Filosofia da Ciência (HFC) no processo de ensino-aprendizagem de conceitos e princípios de Relatividade, buscando problematizar visões ingênuas sobre a natureza da ciência; e construir uma sinergia entre Universidade e escola, focalizando a escuta e a compreensão da identidade do estudante enquanto sujeito da escolarização, a discussão, a divulgação e os usos da argumentação científica, na acepção de Stephen Toulmin (1922-2009).

Palavras-chave: História e Filosofia da Ciência; Física Moderna e Contemporânea; Relatividade; Argumentação Científica.

* Doutoranda em Ensino de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, UFRGS. E-mail: mderlandiaajanuario@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9781-8519>

** Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, UFRGS. E-mail: neusa.massoni@ufrgs.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1145-111X>



Introdução

A literatura da área de Ensino de Física tem dado importância à História e Filosofia da Ciência (HFC), tanto na estruturação dessa área do conhecimento (MATTHEWS, 1995) quanto no que se refere às contribuições à didática das ciências (MARTINS, 2007) e como facilitadora da interpretação de fundo de conceitos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) (SOLBES; SINARCAS, 2009; CUESTA; MOSQUERA, 2017). Há certo consenso na área de que a articulação da HFC na educação científica pode despertar nos estudantes uma visão crítica em relação à ciência e à construção do conhecimento científico, através da (re)elaboração ou transformação de conceitos e da análise das relações entre sociedade e ciência, conduzindo-os a reconhecer que a ciência não é algo pronto e acabado, mas é fruto da atividade humana, colaborativa, processual, inconclusa e não neutra (OLIVEIRA; MARTINS; DA SILVA, 2020; DAMASIO; PEDUZZI, 2017; RAICIK; PEDUZZI, 2016; MONTEIRO; MARTINS, 2015; FORATO, 2011; MASSONI; MOREIRA, 2014; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; MASSONI, 2010; ERTHAL; LINHARES, 2009; MOREIRA; MASSONI; OSTERMANN, 2007).

Por outro lado, a inserção da FMC na Educação Básica tem sido abordada há décadas no Ensino de Física, ressaltando sua importância para compreensão dos fenômenos ligados a situações vividas pelos estudantes, sejam de origem natural ou tecnológica (CAVALCANTE; TAVOLARO, 2001; SILVA; ARENGHI, 2013; ROCHA; RICARDO, 2016). Defendemos que mostrar aos estudantes, de forma explícita, a ciência como uma construção humana e evolutiva pode possibilitar-lhes uma leitura do mundo atual e potencializar a evolução conceitual-epistemológica de suas concepções (GARCIA; LOCH, 2009; EL-HANI; TAVARES; ROCHA, 2004; RAICIK, 2020).

Vale salientar que as políticas públicas para o Ensino Médio recomendam o uso da História e Filosofia da Ciência desde longa data: em 1999, nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNs) (BRASIL, 1999), em 2002, nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN+) (BRASIL, 2002) e em 2012, nas Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (BRASIL, 2012). Esses documentos, em linhas gerais, têm sugerido que é relevante abordar HFC como uma das possíveis vias para se alcançar uma educação científica alinhada à formação cidadã. Mais recentemente, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) diz que “[...] a contextualização social,

histórica e cultural da ciência e da tecnologia é fundamental para que elas sejam compreendidas como empreendimentos humanos e sociais” (BRASIL, 2018, p. 49). Nesse sentido, a enculturação científica não deve ser percebida pelos estudantes apenas com referência aos conhecimentos que fundamentam as modernas tecnologias, mas como uma construção abrangente que tem reflexos no seu cotidiano, na juventude, na sociedade e na compreensão dos fundamentos epistemológicos que garanta uma educação científica consistente (BRASIL, 2012).

Entretanto, apesar das recomendações para a utilização de elementos da HFC serem persistentes e apontarem distintas vantagens, faltam, sobretudo, condições reais para que essas propostas possam ser implementadas em sala de aula (ERTHAL; LINHARES, 2009). Massoni (2010) aponta a necessidade de uma formação de professores que melhor os instrumentalize, para que assim se sintam mais confortáveis para promover essa discussão ; por outro lado, pouco se discute e se investiga sobre como os sujeitos a quem se destina a educação – os estudantes – percebem a escola e a educação que ali recebem (SACRISTÁN, 2005). Assim, é imprescindível, em nossa visão, o desenvolvimento de pesquisas que contemplem a complexidade do processo educativo, capazes de envolver aspectos que muitas vezes são deixados em segundo plano, para além da necessária formação inicial e continuada dos professores atuantes, como a interação sinérgica universidade-escola-estudantes, buscando compreender suas necessidades, especialmente captando a percepção e o sentir dos alunos, cuja presença entre os educadores, pais, professores, legisladores costuma ser naturalizada.

Portanto, nossa pesquisa tem um olhar direcionado à escuta ao aluno, enfoca a escuta e o diálogo para a compreensão de seu lugar na história, na cultura, nas formas por ele utilizadas para construir argumentos científicos, na aceção de Stephen Toulmin (2006), vislumbrando a possibilidade de melhorar a aprendizagem da Física e a percepção de seus usos sociais, enquanto um referente essencial na construção do conhecimento. Desta forma, a teoria da argumentação de Toulmin (2006) e concepção de aluno de Sacristán (2005) são tomadas como referenciais teóricos que contribuem para uma sinergia entre universidade, pesquisadora, escola, alunos e professores atuantes.

Assim, buscaremos: i) contribuir com a promoção de um processo de ensino-aprendizagem com enfoque conceitual, incluindo formalismos na medida do possível, tomando a fundamentação histórica-epistemológica da Relatividade Restrita

como pano de fundo; ii) construir um ambiente de sinergia entre universidade/pesquisadora e escola, valorizando a escuta, a compreensão das identidades dos alunos, diversificando e tornando o processo de ensino-aprendizagem de Física mais atraente, mais crítico (investindo no uso de processos argumentativos) e engajador, baseados na crença de que estes saberes podem conviver com as concepções e construtos pessoais e, ao mesmo tempo, adquirir significância para as suas vidas.

De acordo com Mortimer (2013), esse modo de analisar o mundo se fundamenta na ideia de que cada indivíduo tem formas diferentes de pensar, interpretar e assimilar um mesmo conceito, isto é, para cada conceito científico é possível construir um perfil, a partir de compromissos epistemológicos e ontológicos, que desencadeia diversas compreensões perante um mesmo conceito. Destarte, aprender ciências seria aproximar as maneiras de pensamento das pessoas à forma argumentativa pela qual a ciência é construída e debatida entre seus membros, nas comunidades científicas (NASCIMENTO, 2008), sem a pretensão de tomar o aluno como um pequeno cientista, mas, ao contrário, escutando suas percepções, intencionalidades e opiniões. Guimarães e Massoni (2020) acrescentam ainda que incitar a argumentação em ciências, nesta perspectiva, é importante para uma melhor compreensão do trabalho científico, destacando que tanto o estudante quanto o educador podem ter uma postura ativa frente ao processo de aprendizado de temas de Física, especialmente quando se leva em conta as escolhas de temáticas e os interesses dos estudantes.

Assim, a presente proposta de investigação e intervenções no campo temático da História, Filosofia e Sociologia da Ciência coloca o aluno e seus professores em atividade no centro do processo investigativo no âmbito da Educação Básica, a ser desenvolvida em um curso de doutorado de um Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. O intuito, como já mencionado, é de contribuir para uma educação científica que valorize e integre aspectos da História e Filosofia da Ciência (HFC) no processo de ensino-aprendizagem de Relatividade e a construção de uma efetiva sinergia entre Universidade e escola capaz de focalizar a escuta, a discussão, a divulgação e os usos pelos alunos da argumentação, na acepção de Stephen Toulmin (1922-2009).

A escolha do conteúdo de Relatividade Restrita (ou Teoria da Relatividade Especial), parece-nos uma opção apropriada, uma vez que historicamente é considerada um dos pilares da FMC e também por ter, a pesquisadora, trabalhado essa temática durante a realização do Mestrado Profissional em Ensino de Física em

2020 (JANUÁRIO, 2020), oportunidade em que foi possível perceber que essa seria, para muitos alunos, a única oportunidade de estudar aspectos conceituais básicos, como também epistemológicos, dessa encantadora teoria, que pode também ser percebida como um momento criativo na ciência (GURGEL; PIETROCOLA, 2011). Alguns artigos recentes reforçam essa importância dessa temática na educação científica como Chiriacescu, et al (2020); Kersting; et al (2018) e Arriasecq; Greca e Cayul (2017).

O ensino de relatividade e a história e filosofia em sala de aula

A busca pela inserção de elementos da História, Filosofia e Sociologia da Ciência, como mencionado na Introdução deste texto, vem sendo há décadas discutida e indicada como um possível caminho para promover uma visão crítica sobre a natureza da ciência e seu papel na sociedade, desconstruindo a noção ingênua e ainda bastante presente no ensino-aprendizagem de Física, de que a ciência está assentada em conceitos e teorias prontas e acabadas (AQUINO, 2020; BELTRAN; RODRIGUES; ORTIZ, 2011; PEREIRA; MARTINS, 2011; MASSONI; MOREIRA, 2014). Fatores como conteúdos insuficientes ou simplistas relacionados ao assunto de HFC presentes nos livros didáticos (que na maioria das vezes trazem um apanhado voltado para o formalismo matemático e preparação de ENEM e vestibulares em geral); cultura conteudista do ensino de Física; priorizando o desenvolvimento de habilidades, atitudes e crenças epistemológicas e didáticas inadequadas de professores (MASSONI, 2010) e uma estrutura institucional de ensino de ciências pouco voltada à transformação de concepções sobre a natureza da ciência dificultam a implementação da HFC nas aulas de Física. Assim, as dificuldades vão desde a visão do que é ciência e por quem ela é feita, até questões estruturais, como espaço nos currículos (HÖTTECKE; SILVA, 2011; AQUINO, 2020).

Para Sasseron e Machado (2017), os currículos de Ciências, e de Física, voltados a uma alfabetização científica, conceito este bastante polissêmico e por isso neste texto preferimos utilizar a expressão enculturação científico, tem grande preocupação em engajar de forma ativa os alunos em tarefas, pesquisas e investigações sobre temas científicos, propiciando um entendimento contextualizado dos conceitos físicos associados e também construindo experiências e conceitos sobre como se faz ciência, quais



são seus objetos de estudo e que papel a ciência tem na sociedade. O enfrentamento de questões sociocientíficas relevantes para a sociedade moderna exige não apenas um encultramento científico, no sentido de captar e compreender conceitos e teorias, mas também dominar aspectos históricos e epistemológicos associados a controvérsias científicas e à superação das controvérsias no tempo (JUNGES; MASSONI, 2018), podendo ajudar professores e alunos em discussões atuais e na tomada de decisões mais conscientes, marcando uma atuação ativa na sociedade, pois como o filósofo italiano Antonio Negri (2015, p. 25-26) pondera, “a singularidade está dentro do comum inserida em uma substância eterna que vive e se transforma por um movimento ético ou relação de composição inter-humana”. Para Negri, o poder absoluto não está no capital, ou no Estado, só podendo existir no coletivo (que ele chama “ser-multidão”); a potência do “ser-multidão” se compõe na diferença das singularidades, no ser humano que se questiona sobre a expressão dos limites da relação com os dispositivos de gestão coletiva do comum; e tal potência é tanto maior quanto mais se estende e intensifica a associação; dessa forma não há lugar para o individualismo; a potência constitutiva está nos deslocamentos e nas transformações coletivas. Por isso a importância de formar cidadãos críticos, seres capazes da vida civil.

Arthury e Terrazan (2018) recomendam que um tratamento didático da natureza da ciência, junto a alunos de Física do Ensino Médio demanda considerar aspectos relacionados ao uso de textos nas aulas, à apresentação de termos específicos da epistemologia aos alunos, e às dificuldades enfrentadas tanto pelos alunos quanto pelos professores. Por essas razões que a revisão sistemática da literatura e das políticas públicas no Brasil tendem a apontar, consideramos que a integração da HFC através da Relatividade Restrita à sala de aula da Educação Básica é fundamental para a formação de cidadãos mais reflexivos e preparados para os grandes desafios do século XXI.

Rodrigues, Sauerwein e Sauerwein (2014) discutem as potencialidades da inserção da FMC no Ensino Médio, dando especial ênfase ao ensino da Teoria da Relatividade Restrita por meio do estudo e explicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS), considerando a dilatação do tempo. Descrevem um planejamento didático que aproxima os alunos das situações do cotidiano e que estão relacionados com exemplares tecnológicos, fazendo com que os alunos assumissem o papel principal na construção do conhecimento e percebessem a ciência como uma construção humana, com importantes aplicabilidades no seu cotidiano.

Reis e Reis (2016) discutem a importância de abordar histórica e filosoficamente os conceitos de espaço e tempo na Educação Básica e apresentam os relatos de uma experiência realizada em uma sala de 1º ano do Ensino Médio, trabalhando as temáticas: 1) Galileu e a geometrização do espaço e tempo; 2) A Mecânica de Newton e o espaço e tempo absoluto; 3) A Relatividade de Einstein e o espaço e tempo relativo. À luz desse panorama histórico e filosófico, construíram uma sequência didática que foi implantada e avaliada através de uma pesquisa-ação de uma forma gradual, promovendo a reflexão dos alunos sobre a transitoriedade dos conceitos científicos.

Matos e Massoni (2019) narram a aplicação de uma estratégia didática para introduzir conceitos de Física a alunos de anos finais do Ensino Fundamental, buscando gerar uma experiência positiva nos alunos e possibilitando que esses construam uma visão de ciência alinhada a visões epistemológicas contemporâneas, abordando três diferentes paradigmas: o paradigma de Aristóteles, do lugar natural; o de Newton, da Gravitação Universal; e o de Einstein, da Teoria da Relatividade Geral. Utilizaram aspectos da História e Filosofia da Ciência e tentaram mostrar aos alunos que a Ciência é uma construção humana, provisória, histórica, e que ela está associada a contextos sociais, econômicos e históricos, lhes possibilitando refletir sobre a atividade científica e para que o aprendizado da Física faça sentido ao jovem, em sala de aula.

No trabalho de Oliveira e Gomes (2016), os autores apresentam a história, os anseios, as curiosidades, as verdades reviradas vividas pelos físicos no início do Século XX e a inserção da Relatividade Restrita através de um teatro científico tendo como personagens protagonistas “Ensino Tradicional” e “Física Nova”. O intuito foi que, a partir desse diálogo, os alunos do Ensino Médio percebessem como a ciência evolui e possibilitasse um ensino de Física atrativo e divertido.

Guerra, Braga e Reis (2007) trazem em seu trabalho um debate em torno do ensino de Física, trabalhando com uma proposta curricular de inserção do estudo das Teorias da Relatividade Restrita e Geral no primeiro ano do Ensino Médio. A proposta foi construída com uma abordagem histórica-filosófica, fazendo uma relação entre a Física com outras produções culturais, privilegiando trabalhar com os alunos as questões científicas respondidas pelos trabalhos de Albert Einstein.

De maneira similar, Karam, Cruz e Coimbra (2016) apresentam parte de uma sequência didática, cujo objetivo foi abordar tópicos da Teoria da Relatividade Restrita com alunos também do primeiro ano do Ensino Médio. Os autores trabalharam



os aspectos históricos a partir do caráter conceitual da física de Galileu e de como ela serviu de porta de entrada para o tratamento de tópicos relativísticos, discutindo assim, como essa temática pode ser abordada em sala de aula em um viés histórico.

Com ênfase na formação de professores, Giacomelli, Perez e Rosa (2019) relatam o desenvolvimento, a aplicação e a avaliação de uma proposta didática para contemplar tópicos da Teoria da Relatividade Restrita e da Teoria da Relatividade Geral no Ensino Médio. O estudo foi desenvolvido junto a um grupo de alunos universitários - futuros professores de Física. O objetivo foi investigar as contribuições dessa proposta didática como favorecedora da aprendizagem para estimular os acadêmicos a adotar em sala de aula futuramente, como docentes, temas relevantes da FMC, mostrando o aspecto da evolução da ciência e suas potencialidades.

Neste sentido, o que trazemos aqui é uma revisão bastante preliminar da literatura colocando-a muito mais como uma etapa importante e precedente às implementações e estudos empíricos que pretendemos desenvolver ao longo da implementação deste projeto de investigação. Conforme Rodrigues (2001, p. 23):

A inserção da TRR¹ se funda basicamente em três aspectos: a mudança de padrão de raciocínio e interpretação da realidade aliada à abstração e sofisticação do pensamento, graças à concepção de tempo como uma quarta dimensão; a possibilidade dessa teoria servir de porta de entrada para outros tópicos da FMC e, finalmente, pela necessidade de abordagem de um tema tão presente na sociedade através da divulgação científica.

Acreditamos, portanto, que os argumentos dos alunos poderão ser aprimorados e colocados em prática a partir do “modelo de Toulmin” que é um modelo importante na análise sequencial de argumentos, uma vez que estabelece relações entre vários elementos presentes nas argumentações. Desta forma, consideramos também que uma aproximação universidade-escola e a escuta atenta a alunos e professores atuantes, que lidam diretamente com eles, poderá ser útil e necessária para alcançarmos êxito no auxílio e tentativa de superação de alguns desses desafios, tornando possível a implementação explícita da HFC em sala de aula, com efetivo uso da argumentação científica na acepção de Toulmin.

Utilizaremos como aporte teórico os estudos do J. Gimeno Sacristán (1947) que é autor de diversas publicações sobre cultura, ensino e educação, sobre a escola e seus problemas educativos. Dentre suas obras, o livro intitulado “*Aluno como Invenção*” (2005) coloca o aluno como uma construção social e resgata o valor do sujeito

escolarizado como um referente essencial para projetar, desenvolver e avaliar a qualidade da educação, o que justifica nossa escolha pelo autor, por trazer o aluno como sujeito fundamental no desenvolvimento educacional, oportunizando para que exponha seus pensamentos, argumentos, sendo ativos e não apenas receptores da educação. Acreditamos, portanto, que os processos argumentativos dos alunos poderão ser colocados em prática a partir do “modelo de Toulmin”, que é também um referencial importante para a análise sequencial de argumentos, uma vez que estabelece relações entre vários elementos e as argumentações. Dessa forma, aplicaremos as concepções de Stephen Toulmin como referencial teórico-epistemológico, juntamente com as ideias de Sacristán, além de tomar Toulmin como referencial metodológico que serão esplanadas a seguir.

Referencial teórico-epistemológico e metodológico de Stephen Toulmin

Stephen Toulmin (1922-2009) graduou-se em Matemática e Física no King's College e doutorou-se em Filosofia da Ciência na Universidade de Cambridge e é considerado um dos epistemólogos da ciência mais influentes do século XX. A ciência é, para Toulmin, uma empresa racional composta por disciplinas que são entendidas como entidades históricas em evolução. Assim, as novidades intelectuais constantemente surgem e são propostas no interior da comunidade científica, mas apenas algumas são transmitidas às gerações seguintes pelo processo de inovação e seleção, ou seja, a própria comunidade científica funciona como crítica seletiva e em muitos casos, ao mesmo tempo, como filtro das inovações propostas pelos cientistas (ou grupos de cientistas).

A epistemologia toulminiana investiga tanto os processos da compreensão humana, como a forma como progride o conhecimento científico, pondo-os em termos de um processo evolucionário. Nessa dinâmica ganha relevância a argumentação científica. Toulmin se debruçou nesse ponto e propôs o que ficou conhecido como o “modelo da argumentação de Toulmin” (2003), que corresponde a um modelo textual de conceber o funcionamento da argumentação. Trata-se de uma proposta em que a passagem do argumento à conclusão não ocorre de maneira contínua, mas é fundamentada em um conjunto de princípios que conduzem a uma conclusão com justificativas, sendo esse um dos pontos passíveis de análises em sala de aula. Propor



situações e escutar como os alunos conseguem absorver e (re)elaborar argumentos ao defender uma ideia, um conceito, uma teoria, além de explorar a não linearidade e cumulatividade da ciência, já que, algumas ideias serão descartadas no caminho e outras serão mais elaboradas com relação ao assunto estudado em sala de aula.

Portanto, para Toulmin (2006), pode-se produzir argumentos para diversas finalidades, o que não significa que sua defesa pode ser dada por uma asserção formal direta; o apoio que a conclusão recebe advém das asserções e das proposições que compõem as suas premissas. A validação advém, sobretudo, da habilidade de criticidade desses argumentos, que pode se dar por proposições ou dados, qualificadores, garantias, condições de aceite ou refutação e conclusões; e por uma relação complexa entre estes elementos. Os *warrants* (W) - garantias - são chamadas por Toulmin de qualificadores modais; conferem certo grau de *força justificatória* às conclusões a partir das premissas dadas, ou de *refutadores*, se estes têm o papel de anular a justificação e, com isso, não conferir a garantia de que a conclusão se siga logicamente das premissas (GUIMARÃES; MASSONI, 2020). Apesar da explicitação da garantia em que se gera ser condição do próprio raciocínio argumentativo, a substância dos dados e das garantias é muito variável e depende das escolhas de quem avança os dados. Um raciocínio argumentativo não é um cálculo, mas um modo de pensar, a questão da validade articula-se para a questão da aceitabilidade dos dados avançados, da relevância que eles apresentam para a tese (dados) e da suficiência que revelam para que essa possa ser considerada como fundamentada.

Nesse sentido, acreditamos que as ideias de Toulmin podem ser tomadas como um referencial epistemológico para promover a discussão e aprofundamento da visão de ciência em sala de aula sobre Relatividade Restrita e também como referencial metodológico enquanto tentativa de compreender como os alunos captam os conceitos, (re)interpretam e como se dá a mudança conceitual. Na escola, esse “modelo” seria parte de um conjunto de atividades desenvolvidas junto com alunos, com orientação do professor e da pesquisadora, onde os atos de avaliação, justificação e revisão propiciam um aprendizado em que determinadas metas e objetivos devem ser alcançados, em detrimento de processos e rotinas de memorização que conduzam a uma espécie de aprendizagem mecânica.

Em nossa proposta, utilizaremos uma abordagem histórico-epistemológica e conceitual de postulados e princípios da Relatividade Restrita (Simultaneidade, dilatação temporal, contração do comprimento e energia relativística, como conse-

quência dos dois postulados), com intuito de promover em sala de aula a prática da argumentação dos alunos, na acepção de Toulmin, analisando quais tipos de argumentos se desenvolvem e os modos como se dão na construção do conhecimento. De acordo com Mortimer, Sepúlveda e El-Hani (2013), esse modo de analisar o mundo se fundamenta na ideia de que cada indivíduo tem formas diferentes de pensar, interpretar e assimilar um mesmo conceito, isto é, para cada conceito científico é possível construir um perfil a partir de compromissos epistemológicos e ontológicos, que desencadeia diversas compreensões perante um mesmo conceito.

Assumimos que aprender a pensar é, de certa forma, aprender a argumentar. Mais ainda, aprender a ciência física seria aproximar as maneiras de pensamento das pessoas à forma argumentativa pela qual a ciência é construída e debatida entre os membros das comunidades (NASCIMENTO, 2008). Guimarães e Massoni (2020), acrescentam ainda que a argumentação em ciências, nesta perspectiva, é importante para a compreensão do trabalho científico, destacando que tanto o aluno quanto o educador devem ter uma postura ativa frente ao processo de aprendizado de temas de Física.

Referencial humanista de Sacristán: o aluno em foco

Sacristán (2005, p. 11) afirma que “tudo o que nos é familiar tendemos a naturalizar, como se sua existência sempre tivesse existido e, inevitavelmente, tivesse de existir”. Ele alerta que nossa experiência cotidiana é enriquecida com discursos e representações tomados de outros, que projetam seus pontos de vista. É por esse processo que construímos os sujeitos que participam dos distintos cenários de nossas vidas. A educação é um desses cenários. O aluno é, assim, uma construção social inventada pelos adultos. Naturalizamos, como “menores”, sua existência entre nós ao vê-los no nosso cotidiano; sua voz não nos importa e, dessa forma, não os consultamos sobre o que significa ter essa condição social – de seres escolarizados, em geral, entre 4 e 17 anos. Adverte o autor que essa é uma tendência na maioria dos países do mundo, não nos perguntamos se deste estado (de “ser escolarizado”) sempre surgem consequências positivas, se poderia ser diferente, como vivem essa tarefa, com que dificuldades ou preocupações vão às aulas, que desejos deixam nas portas das escolas (SACRISTÁN, 2005, p. 14).



Para ele, a pesquisa educacional tem tomado como sujeito de pesquisa nas últimas décadas *o professor, a formação do professor*, dando atualidade a um discurso que também dividiu e parcelou o objeto de estudo. O sujeito professor está muito mais presente nas pesquisas da área do que o sujeito aluno. Em um breve apanhado na plataforma Periódicos da CAPES, embasados nas buscas similares feitas por ele na Espanha, obtivemos nas últimas duas décadas, buscando pelas palavras-chave “aluno” e “professor”, os seguintes números de trabalhos revisados por pares 7.073 e 1.198.147, respectivamente; e para a busca “estudantes” e “professores” os resultados foram os seguintes: 16.991 e 19.902. Este desequilíbrio mostra que, de fato, o sujeito professor está mais presente nas pesquisas no Brasil, o que segue padrões internacionais como mostra Sacristán (2005).

Além de centrar no professor, o discurso educacional tem se centrado na instituição escolar, em sua eficácia, no currículo, no êxito ou no fracasso e na acomodação da educação ao sistema produtivo, tendo deixado de fora preocupações sobre o que pensam os alunos sobre a educação, sobre gênero e cultura étnica como geradores de desigualdades entre os alunos. Nesse sentido, buscaremos fazer esse regaste da voz, pensamentos e ideias dos alunos nas aulas de Física com uso da argumentação na acepção de Toulmin, mas também através de grupos focais e outras estratégias que permitam fazer surgir o discurso, a voz dos alunos.

Alguns aspectos metodológicos e implicações para o ensino de Física

O uso da argumentação na acepção de Toulmin para o ensino de Ciências e o papel incentivador do professor diante dessa prática argumentativa são fundamentais para que possamos escutar o estudante, suas reflexões e críticas, pois este “(...) *não é uma tábua rasa a ser preenchida pelos adultos, mas ele é o agente ativo em seu desenvolvimento*” (SACRISTÁN, 2015, p. 22). Dessa forma, pensamos em desenvolver investigações e intervenções articulando um tópico de FMC com o campo temático da História e Filosofia da Ciência, tendo como público alvo os alunos e seus professores, em sala de aula da Educação Básica, preferencialmente em alguma escola da região metropolitana de Porto Alegre; a proposta é promover pesquisas empíricas com alunos do Ensino Médio, em uma sinergia entre escola, universidade e pesquisadora.

Trata-se de uma proposta de investigação de natureza qualitativa em Educação em Ciências porque valoriza as percepções humanas, os aspectos subjetivos dos participantes, as opiniões das pessoas sobre fenômenos sociais (STAKE, 2011). A investigação qualitativa procura entender fenômenos do dia a dia escolar em toda sua complexidade, incertezas e em seu contexto natural (BOGDAN; BIKLEN, 1994).

A abordagem qualitativa tem como características: (i) o investigador como principal instrumento de pesquisa, uma vez que está imerso no ambiente natural do contexto escolar; (ii) exige um detalhamento descritivo e abundante dos dados obtidos (valorização de cadernos de campo e observações cuidadosas); (iii) possui interesse de entender a forma como as pessoas (alunos) dão significados as suas ações e, em nosso caso, à escolarização e à educação científica; (iv) ela é interpretativa, não pode prescindir de percepções do próprio pesquisador, que não é um sujeito neutro; (v) é experiencial, valorizando o processo de observação; (vi) é naturalística, no sentido de o pesquisador buscar ser fiel aos dados e não interferir neles, embora o pesquisador não possa ser tomado como instrumento neutro, como já citado; (vii) ela é situacional e personalística, pois valoriza a regionalização e o contexto cultural local sem pretensões de construir generalizações, mas enfatizando as singularidades, ainda que as explicações dos fenômenos educacionais busquem por certos padrões (BOGDAN; BIKLEN, 1994).

Para o registro dos acontecimentos e das atividades de ensino-aprendizagem buscar-se-á utilizar uma diversidade de fontes de dados no intuito de termos uma visão mais geral do fenômeno estudado, por exemplo: observação participante ativa (da pesquisadora), entrevista, uso do caderno de campo, intervenção com atividades e apresentação de conceitos de Relatividade em módulos de ensino com uso da argumentação, júri simulados com questões expositivas e debates. Todas essas ideias buscam fazer uso da argumentação de Toulmin e explanar em sala de aula tópicos da Física Moderna, no caso, Relatividade. Kersting et al. (2018), salientam que conceitos de espaço e tempo são importantes, porém, não há aprofundamento, nas aulas de ciências, sobre a sua epistemologia e história na perspectiva de uma relatividade especial e uma abordagem crítica ao ensino destas concepções, o que seria fundamental na educação, pois se traria um olhar crítico e investigativo para a sala de aula. Pitts et al. (2013) acrescentam ainda que os conceitos relacionados com a física einsteiniana podem ser apresentados logo na Educação Básica e não apenas nos cursos superiores como geralmente acontece, uma vez que, adequando a



linguagem à idade, pode resultar em uma aprendizagem mensurável. Os resultados dos autores indicaram uma melhoria estatisticamente significativa na compreensão conceptual das crianças do sexto ano (entre 10 e 11 anos) sobre o espaço curvo e um interesse das crianças pelo o assunto.

É possível que haja algumas adaptações para o formato *online* nas intervenções, já que a situação pandêmica que estamos vivenciando desde o primeiro semestre de 2020 ainda continua. Desta forma, os módulos de ensino podem ser acompanhados com recursos digitais para que envolvam o estudante nesse mundo virtual e, ao mesmo tempo, esses sejam engajados e interajam de forma a expor seus argumentos, percepções, necessidades, expectativas e ideias. Nesse sentido, Chiriacescu et al. (2020) apresentam uma ferramenta didática digital que consiste em apresentar as ações por meio de uma animação projetada em uma superfície de quadro branco. Os conceitos, símbolos, palavras-chave são desenhados sob o olhar do observador, ajudando-o a compreender o fluxo natural dos acontecimentos que, para os autores, é eficaz na compreensão do fenômeno e na motivação dos estudantes para o estudo do conteúdo. Morarua, Stoica e Miron (2010) apresentaram tópicos de FMC por meios de software educativo fazendo uma interdisciplinaridade entre Matemática, Química e Biologia, cujo objetivo era buscar um ensino ativo e interativo levando os estudantes a descobrir o prazer da investigação e da aprendizagem de argumentos para uma mudança de paradigma no processo de ensino de ciências. Dessa forma, é necessário investigar mais propostas que já se mostraram bem-sucedidas, conduzindo as devidas adaptações sobre como implementar um tópico da FMC, tendo como pano de fundo a HFC, através da argumentação de Toulmin no contexto de sala de aula, o que poderia se refletir na produção e consolidação de um conhecimento metodológico e analítico específico para o campo.

As análises dos tipos, validade, qualidade das argumentações e discussões que ocorrerão em sala de aula, bem como a escuta das falas dos alunos sobre suas percepções dos processos de escolarização e educação científica, serão feitas seguindo o modelo argumentativo de Toulmin, complementado na medida da detecção da necessidade por grupos focais e entrevistas. A investigação será estruturada em dois momentos: o primeiro se refere ao estudo e revisão de literatura de como tomar a FMC articulada à HFC, sua história e seu papel no desenvolvimento da Física, como tópicos a serem explorados em sala de aula da Educação Básica; no segundo momento, construiremos módulos separados por tópicos da Relatividade

Restrita, com textos de apoio para os alunos e professores, privilegiando a abordagem conceitual do conteúdo e um enfoque histórico e filosófico da ciência. Logo, pretendemos abordar tanto a compreensão de fundamentos e princípios físicos, como a transformação e/ou fortalecimento de uma visão de ciência mais contemporânea e a articulação e desenvolvimento de habilidades de argumentação na acepção de Toulmin. As abordagens, análises e discussões serão elaboradas à luz do referencial teórico de Toulmin e Sacristán e, na medida que for necessário, será adotado alguns referenciais de análise, por exemplo, de Análise de Conteúdo.

Resultados Esperados

A investigação aqui apresentada, que se encontra na fase de aprofundamento teórico e de revisão da literatura, pretende, como já dito, compreender a percepção do aluno, enquanto sujeito da escolarização (particularmente da enculturação científica), sobre o ensino e aprendizagem de Física, em especial de FMC com foco na Relatividade; ouvir e interagir com seus professores, enquanto docentes atuantes, visando colaborar e construir uma sinergia entre universidade/pesquisadora-escola-professor-aluno. Entendemos que o uso da argumentação na acepção de Toulmin pode auxiliar a colocar em prática processos argumentativos e gerar melhorias na intenção de construir cidadãos críticos, participativos na sociedade, capazes de perceber o mundo contemporâneo como definido por uma singularidade irreduzível e coletiva como princípio de transformação e capazes de assumir o risco da indignação, como propõe Negri (2015).

The use of argumentation in Stephen Toulmin's sense articulated with the student-centered historical-epistemological approach: a possible way to build learning in relativity

Abstract

We present a proposal for investigation and interventions in the thematic field of History, Philosophy and Sociology of Science articulated to the topic of Modern and Contemporary Physics (MCP) aiming to reach students from the Elementary School and their active teachers, which will be developed during the PhD research from a Postgraduate Program in Physics Teaching. There are two main objectives of our proposition with this study: to contribute to a scientific education that uses and integrates aspects of the History and Philosophy of Science (HPC) in the teaching-



-learning process of concepts and principles of Relativity, seeking to question naive views about the nature of science; and build a synergy between University and school, focusing on listening and understanding the student's identity as a subject of schooling, discussion, dissemination and the uses of scientific argumentation, in the sense of Stephen Toulmin (1922-2009).

Keywords: History and Philosophy of Science; Modern and Contemporary Physics; Relativity; Scientific Argumentation.

Notas

¹ TRR- Teoria da Relatividade Restrita.

Referências

ARTHURY, Luiz Henrique Martins. A natureza da ciência no ensino de física: entre recortes e sugestões. **Revista do Professor de Física**, v. 4, n. 2, p. 1-17, 2020.

AQUINO, G. T. M. "História da Ciência no Ensino Médio: caminhos para uma interdisciplinaridade possível". *Khronos*, **Revista de História da Ciência**, n. 4, p. 14-31. 2017.

BELTRAN, Maria Helena Roxo; RODRIGUES, Sabrina Páscoli; ORTIZ, Carlos Eduardo. História da Ciência em Sala de aula—Propostas para o ensino das Teorias da Evolução. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, v. 4, p. 49-61, 2011.

BOGDAN, Robert C.; BIKLEN, Sari K. **Investigação qualitativa em educação**. Porto: Porto Editora, 1994.

BOTTURA JÚNIOR, Wimer. A gênese do adoecimento decorrente das agressões silenciosas. Psicoimunologia. In: ANGERAMI CAMON, V.A. (Org.). **Psicossomática e suas interfaces: o processo silencioso do adoecimento**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. p. 389-396.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular, 2018. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm>. Acesso em: 12. out. 2020.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF, v. 134, n. 248, 1996.

BRASIL. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais **PCN+** – Ensino Médio – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: Ministério da Educação, 2002.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

BRASIL. Conselho Nacional da Educação/Conselho Pleno. Resolução n. 4, de 17 de Dezembro de 2018. Institui a **Base Nacional Comum Curricular na Etapa do Ensino Médio (BNCC-EM)**, como etapa final da Educação Básica, nos termos do artigo 35 da LDB, completando o conjunto constituído pela BNCC da Educação Infantil e do Ensino Fundamental, com base na Resolução CNE/CP nº 2/2017, fundamentada no Parecer CNE/CP nº 15/2017. Disponível em: <<http://portal.mec>.

gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=104101-rcp004-18&Itemid=30192>. Acesso em 05/10/2020.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane Rodrigues Caetano. Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, p. 372-389, 2004.

COSTA, Maria da Conceição dos Santos; FARIAS, Maria Celeste Gomes de; SOUZA, Michele Borges de. A base nacional comum curricular (BNCC) e a formação de professores no Brasil: retrocessos, precarização do trabalho e desintelectualização docente Movimento. **Revista de Educação**, n. 10, p. 91-120, jan./jun. 2019.

CUESTA, Yeison Javier; MOSQUERA, Carlos Javier. Algunas Reflexiones en torno a las Implicaciones de la NdC en Educación en Ciencias: el caso de la Enseñanza de la Mecánica Cuántica. **TED: Tecné, Episteme y Didaxis**. Extraordinario, p. 921-927, 2017.

DAMASIO, Felipe; PEDUZZI, Luiz Orlando Q. História e filosofia da ciência na educação científica: para quê? **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 19, 2017.

EL-HANI Charbel Niño; TAVARES, Eraldo José Madureira; ROCHA, Pedro Luís Bernardo. Concepções epistemológicas de estudantes de biologia e sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre história e filosofia das ciências. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, v. 9, n.3, 2004.

ERTHAL, João Paulo Casaro; LINHARES, Marília Paixão. História da ciência em sala de aula: o que tem aparecido em nossas revistas? **Simpósio Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências**, 2009. Disponível: <http://www.fep.if.usp.br/~profis/arquivos/vii-enpec/VII%20ENPEC%20-%202009/www.foco.fae.ufmg.br/cd/pdfs/966.pdf> Acesso em 25/11/2020

FRANGELLA, Rita de Cássia Prazeres; DIAS, Rosanne Evangelista. Os sentidos de docência na BNCC: efeitos para o currículo da educação básica e da formação/atuação de professores **Revista: Educação Unisinos**, v. 22, n. 1, p. 7-15, 2018. DOI: 10.4013/edu.2018.221.01

FORATO, Thaís Cyrino Mello; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto Andrade. Histo-riografia e Natureza da ciência na Sala de Aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

GARCIA, Nilson Marcos Dias; LOCH, Juliana. Física moderna e contemporânea na sala de aula do ensino médio **VII ENPEC**, nov 2009. Disponível em <http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/vii-enpec/VII%20ENPEC%20-%202009/www.foco.fae.ufmg.br/cd/pdfs/1335.pdf> Acesso em 26/12/2020

GUIMARÃES, Lucas Peres; CASTRO, Denise Leal de. Visão dos professores de ciências da rede municipal de barra mansa, diante dos desafios da base nacional comum curricular (BNCC) Horizontes. **Revista de Educação**, v. 8, n. 15, p. 6-19, 2020.

GUIMARÃES, Ricardo Rangel; MASSONI, Neusa Teresinha. Argumentação e pensamento crítico na educação científica: análise de estudos de casos e problematizações conceituais: **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 2, p. 320-344, mai./ago. 2020.

GURGEL, Ivã; PIETROCOLA, Maurício. Uma discussão epistemológica sobre a imaginação científica: a construção do conhecimento através da visão de Albert Einstein, **Revista Brasileira de Ensino Física**, v. 33, n. 1, 2011.

HÖTTECKE, Dietmar; SILVA, Cibelle Celestino. Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: an analysis of obstacles. **Science & Education**, v. 20, n. 3-4, p. 293-316, 2011.



JUNGES, Alexandre Luis; MASSONI, Neusa Teresinha. O Consenso Científico sobre Aquecimento Global Antropogênico: Considerações Históricas e Epistemológicas e Reflexões para o Ensino dessa Temática. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 2, p.455–491, 2018.

JANERINE Ana Luiza de; QUADROS, Aline de Souza. A formação de professores: analisando uma experiência formativa. **Revista Insignare Scientia**, v. 1, n. 1, 2018.

LIMA, Gilson. Redescoberta da mente na educação: a expansão do aprender e a conquistado conhecimento complexo. **Educação e Sociedade**, v. 30, n. 106, p. 151-174, jan./abr. 2009. Disponível em <http://www.cedes.unicamp.br> Acesso em: 10/10/2020

MASSONI, Neusa Teresinha; MOREIRA, Marco Antonio. Uma análise cruzada de três estudos de caso com professores de Física: a influência de concepções sobre a natureza da ciência nas práticas didáticas. **Ciência & Educação**, v. 20, n. 3, p. 595-616, 2014.

MASSONI, Neusa Teresinha. **A Epistemologia contemporânea e suas contribuições em diferentes níveis de Ensino de Física**: a questão da mudança epistemológica. 2010. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010, 412f.

MASSONI, Neusa Teresinha. Epistemologias do Século XX. **Textos de Apoio ao Professor de Física**. v. 16 n. 3, UFRGS, 2005.

MARTINS, Roberto Andrade. A maçã de Newton: História, Lendas e Tolices. In: SILVA, C. C. **Estudos de história e filosofia das ciências**: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MAQUINÉ, Gilmara Oliveira; AZEVEDO, Rosa Oliveira Marins. Competências na formação de professores: da LDB à BNCC. **Revista Relações Sociais**, v. 1, n. 1, 2018.

MATTHEWS, Michael R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MATTHEWS, Michael R. **Science Teaching - The Role of History and Philosophy of Science**. New York: Routledge, 1994.

MONTEIRO, Midia. M.; MARTINS, André Ferrer P. História da ciência na sala de aula: Uma sequência didática sobre o conceito de inércia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4. p. 4501-1-4501-9. 2015.

MOREIRA, Marco Antonio; MASSONI, Neusa Teresinha; OSTERMANN, Fernanda. História e epistemologia da física na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 127-134, 2007.

MOREIRA, Marco Antonio; MASSONI, Neusa Teresinha. **Epistemologias do Século XX**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 2011.

MORTIMER, Eduardo Fleury; SEPULVEDA, Claudia Alencar Serra; EL-HANI, Charbel Nino. Construção de um perfil conceitual de adaptação: implicações metodológicas para o programa de pesquisa sobre perfis conceituais e o ensino de evolução. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 18, p. 439-479, 2013. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/140>

NASCIMENTO, Silvania Sousa do.; VIEIRA, Rodrigo Drumond. Contribuições e limites do padrão de argumento de Toulmin aplicado em situações argumentativas de sala de aula de ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 8, n. 2, p. 1-20, 2008.

NEGRI, Antonio. **Biocapitalismo: entre Spinoza e a constituição política do presente**. 1ª ed. São Paulo: Iluminuras, 2015..

OLIVEIRA, Rilavia Almeida de; MARTINS, André Ferrer Pinto; SILVA, Ana Paula Bispo. Temas de Natureza da Ciência à partir de episódios históricos: os debates sobre natureza da luz na primeira metade do século XIX. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 1, p. 197-218, 2020.

PEDUZZI, Luiz Orlando Q. Sobre a utilização didática da história da ciência. In: PIETROCOLA, M. (Org.) **Ensino de Física – conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora UFSC, 2001. p. 236-250.

PEREIRA, Marcus Vinicius ; BARROS, Susana de Souza. Análise da produção de vídeos por estudantes como uma estratégia alternativa de laboratório de física no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 4, 2010

RAICIK, Anabel Cardoso.; PEDUZZI, Luiz Orlando Q. Um resgate histórico e filosófico dos estudos de Stephen Gray. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 1, 2016.

RAICIK, Anabel Cardoso. Nos embalos da HFC: discussões sobre a experimentação e aspectos relativos à NdC em UEPS. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 2, 2020.

ROCHA, Diego Marcelli; RICARDO, Elio Carlos. As crenças de autoeficácia e o ensino de Física Moderna e Contemporânea. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 223-252, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n1p223>

SACRISTÁN, José Gimeno. **O aluno como Invenção**. Porto Alegre: Artmed, 2005.

SASSERON, Lúcia Helena.; MACHADO, Vitor Fabrício. **Alfabetização Científica na Prática: inovando a forma de ensinar Física**. 1ª ed, São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.

SEPULVEDA, Claudia Alencar Serra; MORTIMER, Eduardo Fleury.; EL-HANI, Charbel Niño. Construção de um perfil conceitual de adaptação: implicações metodológicas para o programa de pesquisa sobre perfis conceituais e o ensino de evolução. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 18, p. 439-479, 2013.

SILVA, João Ricardo Neves da; ARENGHI Luis Eduardo Birello; LINO, Alex. Por que inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 6, n. 1, p. 69-83, 2013.

SOLBES, Jordi; SINARCAS, Vicent. Utilizando la historia de la ciencia en la enseñanza de los conceptos claves de la física cuántica. **Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales**, v. 23, n. 1, p.123-151, 2009.

STAKE, Robert. **Investigación con estudio de casos**. Ediciones Morata, S. L., Madrid, 1999.

STAKE, Robert. **Pesquisa Qualitativa: estudando como as coisas funcionam**. Tradução: Karla Reis; revisão técnica: Nilda Jacks. Porto Alegre: Penso, 2011.

TOULMIN, Stephen E. **Os usos do Argumento**. São Paulo: Martins Fontes, 2006.

TOULMIN, Stephen E. **The Uses of Argument**, Updated Edition, Cambridge University press, 2003.



Charges e a história cultural da ciência: o eclipse e a deflexão da luz

Vinicius Jacques*, Lucas Albuquerque do Nascimento**, Henrique César da Silva***

Resumo

Este artigo teve como objetivo analisar os aspectos históricos e textuais de charges que possuem relações com as tentativas de observação de eclipses referentes à deflexão da luz, realizadas no Brasil em 1912 e 1919, por meio da História Cultural da Ciência articulada com a noção de *textualização*. Assim, procuramos não analisar separadamente o *texto* (charge) dos conhecimentos e práticas relacionados aos episódios históricos. As charges analisadas foram publicadas em *O Malho*, uma revista ilustrada de grande circulação e repercussão na década de 1910. A seleção das charges se deu a partir de buscas na Biblioteca Nacional Digital. A análise das charges evidenciou processos de representação de uma prática científica comumente invisibilizada, a tentativa de observação do eclipse total do Sol em 1912; favoreceu a visibilidade de ações produzidas por outros atores, como Henrique Morize e Charles Dillon Perrine; destacou práticas científicas como as interações entre Perrine e Eddington; a busca por financiamento e atrasos na liberação de recursos e fatores que foram determinantes para a escolha dos pontos de observação, como a proximidade destes às ferrovias. Os elementos apresentados sinalizam potencialidades da utilização de charges no ensino de Física, numa perspectiva da História Cultural da Ciência articulada à *textualização*, onde a charge é a divulgação e elemento cultural constitutivo de uma prática científica. A análise sinaliza a relação entre texto/linguagem, suas práticas social, cultural e política de produção, com a dimensão conceitual, coletiva, histórica e epistemológica da produção da ciência.

Palavras-chaves: História Cultural da Ciência; *Textualização*; Charges; Deflexão da Luz; Eclipse.

Instituto Federal de Santa Catarina/Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina - PPGECT/UFSC. Membro do Grupo de Pesquisa FLUXO - Circulação e Textualização da Ciência e Educação Científica. E-mail: vinicius.jacques@ifsc.edu.br

** Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina - PPGECT/UFSC. Membro do Grupo de Pesquisa FLUXO - Circulação e Textualização da Ciência e Educação Científica. E-mail: lucas.albuquerque13@hotmail.com

*** Universidade Federal de Santa Catarina/Centro de Ciências da Educação/Departamento de Metodologia de Ensino/Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica - PPGECT/UFSC. Líder do Grupo de Pesquisa FLUXO - Circulação e Textualização da Ciência e Educação Científica (<https://fluxo.ufsc.br/>). E-mail: henriquecsilva@gmail.com

<https://doi.org/10.5335/rbecm.v4i3.12910>

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

ISSN: 2595-7376



Introdução

Este artigo teve como objetivo analisar os aspectos históricos e textuais de charges que possuem relações com as tentativas de observação de eclipses referentes à deflexão da luz, realizadas no Brasil em 1912 e 1919, e com a corroboração empírica da Teoria da Relatividade Geral (TRG), numa perspectiva historiográfica da História Cultural da Ciência (HCC) (PIMENTEL, 2010) articulada com a noção de *textualização* (SILVA, 2019).

A análise de charges que propomos e realizamos neste artigo pode contribuir com subsídios para incorporá-las em episódios de ensino sobre a história da TRG, particularmente, episódios que abordam as tentativas de medidas da deflexão da luz de estrelas durante eclipses total do sol, como os casos que passam pela história e culturas brasileiras, a saber: o eclipse de 1912 em Passa Quatro - Minas Gerais e o de 1919 em Sobral - Ceará.

A HCC, desenvolvida em trabalhos como os de Moura e Guerra (2016), Peron e Guerra (2017), Moura et al. (2017), Camel et al. (2019) e Abalada e Guerra (2020), tornou-se uma abordagem importante para a Educação em Ciências. Esta perspectiva historiográfica ressalta o papel do contexto sociocultural na construção das Ciências, tem seu foco deslocado dos estudos das grandes ideias e cientistas, para ações de diferentes atores e dedica atenção às práticas científicas e às formas de representação do conhecimento científico desenvolvidas em determinado contexto (MOURA; GUERRA, 2016). Nesse sentido, práticas e representações que refiguram o conhecimento científico e incluem “relações com a cultura mais ampla, através da atuação de não cientistas na ciência, da divulgação desse conhecimento ao público amplo, das relações socioinstitucionais que ali se desenvolvem e da própria explicitação dos contextos históricos mais gerais nos quais estas práticas científicas se desenvolveram” (MOURA; GUERRA, 2016, p. 740-741).

Como os autores que têm trabalhado essa abordagem, acreditamos que este aporte historiográfico pode dar suporte a intervenções pedagógicas no ensino *em, sobre e pelas* Ciências (SANTOS, 1999) para a tomada de decisões em temáticas de interesse público. E para isso, um dos pontos de partida é o conhecimento da herança cultural – um conhecimento social e político, para além do conhecimento conceitual e epistemológico (MOURA; GUERRA, 2016).



Nessa perspectiva historiográfica, o foco não ocorre apenas nos mecanismos de produção dos objetos culturais, mas também nos mecanismos de recepção (BURKE, 2008). Nessa direção, Secord (2004) aponta a Ciência como uma atividade de comunicação e circulação. O autor indica, ainda, que a compreensão do conhecimento científico como prática superou as “fronteiras entre ‘interno’ e ‘externo’ e abriu uma visão da ciência como um processo, incluindo investigações sobre experimentos, trabalho de campo e elaboração de teorias. Mais fundamentalmente, quebrou velhas distinções entre palavras e coisas, entre textos, livros, instrumentos e imagens” (SECORD, 2004, p. 658, tradução nossa).

Assim como Secord (2004), entendemos as Ciências como formas de comunicação. Daí a necessidade de dar atenção às práticas de circulação – que se dão de diferentes formas e podem reunir uma variedade de abordagens. Diante desse cenário “se a ciência é realmente uma atividade exercida por pessoas, o estudo das práticas comunicativas deveria ser algo que todos nós fazemos o tempo todo” (SECORD, 2004, p. 670, tradução nossa).

A circulação do conhecimento se dá em diferentes modos textuais (SILVA, 2019). Na vertente da HCC os textos são artefatos culturais que fazem parte da produção, *textualização* e circulação dos conhecimentos. Consideramos que os textos têm valor e materialidade, são constitutivos e não secundários, ou seja, os textos não são apenas veículos neutros de algo que circula e de um conteúdo que comunicam, os textos são peças materiais desses processos.

Para a HCC, os artefatos textuais considerados vêm sendo ampliados para além dos textos verbais. Pimentel (2010, p. 421, tradução nossa) aponta que: “Os estudos visuais têm penetrado fortemente na historiografia e em termos gerais podemos dizer que os historiadores hoje deixaram de considerar as imagens como ilustrações, para tratá-las como fontes, passíveis de serem interrogadas, lidas e interpretadas como se fossem um texto”. Na mesma direção, Secord (2004, p. 665, tradução nossa) salienta que: “Todas as evidências do passado estão na forma de coisas materiais. Este é (ou melhor, tornou-se) óbvio no caso de instrumentos experimentais, espécimes de história natural, e modelos tridimensionais. Mas é igualmente verdadeiro para panfletos, desenhos, jornais, artigos, cadernos, diagramas, pinturas e gravuras”. E, questionamos neste artigo, por que não charges?

As charges, um dos gêneros dos quadrinhos (RAMOS, 2010), são uma das formas de circulação do conhecimento científico. As charges, comumente utilizadas em sátira

política desde sua origem, ampliaram seu contexto de satirização, articulando-se a eventos científicos e circulando em diferentes meios.

As charges publicadas no contexto das tentativas de observação de eclipses referentes à deflexão da luz, em 1912 e 1919, objetos de estudo deste artigo, circularam em revistas ilustradas da época no Brasil. Revistas que eram veículos de comunicação de massa e que tinham em *O Malho* “a mais interessante Revista Ilustrada da República Velha, não só por sua permanente intervenção humorística na política do país, como também pela qualidade dos chargistas que reuniu durante sua longa existência” (TEIXEIRA, 2001, p. 33).

Para Teixeira (2001, p. 33), *O Malho* era uma revista com “consistência política e importância cultural”, que ao produzir e publicar charges elege a política “para a expressão de sua forma e manifestação de seu conteúdo” (ibidem, p. 05). “Em consequência, a eficácia de seu discurso está organicamente ligada à sociedade na qual se insere” (ibidem, p. 05). Assim, acreditamos que a análise das charges, relacionadas às tentativas de observação de eclipses, podem oferecer subsídios que favoreçam um conhecimento social e político, para além do conhecimento conceitual (MOURA; GUERRA, 2016; MOURA, 2019), sinalizando uma relação que por vezes não é tão simples.

Não concebemos as charges como subcultura, numa conotação depreciativa, mas como artefatos da “cultura de massa”, e, peças de uma prática de circulação, dos modos de recepção da ciência pelo público. Barros (2003, p. 145) aponta que “qualquer objeto material produzido pelo homem faz também parte da cultura – da cultura material”. Salienta, ainda, que a vida cotidiana está imersa no mundo da cultura. “A própria linguagem, e as práticas discursivas que constituem a substância da vida social, embasam esta noção mais ampla de Cultura. ‘Comunicar’ é produzir Cultura [...]” (BARROS, 2003, p. 146).

Se, por um lado, a perspectiva da HCC permite pensar o papel de artefatos culturais na produção histórica da ciência, por outro lado, se estamos pensando nas potencialidades dessa perspectiva historiográfica para a educação em ciências, é importante lembrar que os quadrinhos são um produto de cultura de massa de grande penetração popular e aceitação entre os estudantes (VERGUEIRO, 2018). Vergueiro (2018) salienta que mesmo com o surgimento de outros meios de comunicação e entretenimento, cada vez mais diversificados e sofisticados, os quadrinhos

continuam sendo atrativos e estão presentes em todos os países. Os quadrinhos têm se adentrado nas escolas e por consequência nas salas de aula.

Neste contexto, diversos autores (ASSIS; MARINHO, 2016; FIORAVANTI et al., 2016; VERGUEIRO, 2018; JACQUES, 2019) têm destacado as vantagens da utilização dos quadrinhos no ensino, uma vez que possuem uma relação semiótica do icônico e do verbal – uma linguagem que favorece a compreensão e identificação do leitor com o enredo proposto – podendo ser utilizadas em estratégias de ensino-aprendizagem em várias temáticas na sala de aula.

Dessa forma, temos como hipótese que conceber as charges como artefatos culturais que fazem parte do processo de produção, circulação e textualização do conhecimento científico e tecnológico de um ponto de vista cultural pode propiciar subsídios para aprimorar o uso desses textos e da leitura no Ensino de Física. Possibilitando estabelecer conexões entre contextos histórico-culturais passados e contextos contemporâneos.

A perspectiva deste artigo corrobora com Moura e Guerra (2016) em considerar fundamental a utilização do contexto histórico de produção das Ciências, assim como suas relações com outras produções culturais que compartilham o mesmo contexto. As charges, objeto de análise deste trabalho, fazem parte dessas “outras produções culturais”. Artefatos que comunicam, circulam e textualizam noções de Ciências e tecnologias não independentemente do seu contexto e condicionantes histórico-culturais.

Sendo assim, este artigo não se limita a analisar separadamente *o texto* (charge) dos conhecimentos e práticas relacionados aos episódios históricos, mas a sua *textualização*, segundo Silva (2019, p. 9), “[...] uma abordagem que analise essa simultaneidade ali presente, a da forma do texto e a do conhecimento que ele veicula”. Com isso, consideramos as charges como textos e pensamos nas relações entre estes e “conhecimentos científicos para além de um viés puramente conteudista” (SILVA, 2019, p. 12). Ao adotarmos a noção de *textualização* pressupomos esta relação constitutiva, em que as especificidades da linguagem e de seu contexto histórico e cultural de produção precisam ser consideradas (SILVA, 2019). As charges, nosso objeto de análise, são textos, artefatos culturais, com inúmeras especificidades e elementos que se articulam, inclusive com possibilidade de sobreposição imagética e verbal.

Os eclipses, as charges e seus meandros...

Ao considerar uma curvatura do espaço, as medidas de deflexão da luz de estrelas durante um eclipse total do sol constituíram-se num evento ímpar na Ciência e para sua própria História, pois tais medidas proporcionaram a primeira corroboração empírica de uma das bases da TRG. Sendo que

As medidas da deflexão da luz das estrelas na borda do Sol constituíram uma evidência muito forte para a confirmação e a aceitação da teoria da relatividade geral de Einstein. Essa teoria alterou profundamente a nossa visão sobre o universo. Ela suplantou a teoria gravitacional que Newton havia formulado cerca de dois séculos antes e foi um acontecimento de extraordinária importância na ciência (MOREIRA, 2019a, p. 32).

Antes de publicar as considerações finais sobre TRG, Einstein tinha deduzido, em 1911, um valor do ângulo de deflexão da luz (0,875 segundos de arco) provenientes de estrelas ao passar nas vizinhanças do Sol, ao analisar a influência de um campo gravitacional intenso na propagação da luz (MOREIRA, 2019b).

Einstein fez isso sem conhecer os resultados anteriores e levando em conta seu Princípio da Equivalência. Logo em seguida, ele sugeriu a astrônomos que esse ângulo poderia ser medido em um eclipse total do Sol, por meio de fotografias de estrelas cuja luz passasse na borda do Sol comparadas com fotos das mesmas estrelas quando o Sol não estivesse mais na frente delas” (MOREIRA, 2019b, p. 13).

Para que a deflexão da luz por um campo gravitacional intenso fosse registrada e posteriormente calculada era necessário fazer fotografias das luzes das estrelas “próximas” do Sol em uma situação de eclipse total do Sol, pois em nenhuma outra situação em ambiente terrestre o fenômeno é possível de ser registrado devido a uma fraca ou forte intensidade luminosa (MOURÃO, 1993). Assim, justificou-se a necessidade de observar e registrar eclipses totais do Sol.

Tentativas de medir a deflexão da luz de estrelas aconteceram já em 1912, por uma expedição astronômica argentina dirigida por Charles Perrine. “Perrine havia sido estimulado a fazê-lo por Erwin Finlay-Freundlich (1885-1964), astrônomo do Observatório de Berlim e amigo de Einstein. As observações, durante um eclipse total do Sol, seriam feitas no Brasil, na cidade Cristina (MG); mas choveu todo o tempo e nada foi medido” (MOREIRA, 2019b, p. 14).

Outra tentativa ocorreu em 1914, em plena primeira guerra mundial, nas regiões da Crimeia. Por questões políticas e de guerra, os astrônomos que viajaram para



observar o eclipse de 1914, foram presos e tiveram seus equipamentos confiscados pelo exército russo ao serem confundidos como espiões inimigos do império russo (MOURÃO, 1993).

Outras duas tentativas igualmente frustradas ocorreram na Venezuela, em 1916, e nos Estados Unidos, em 1918 (MOREIRA, 2019b). As considerações finais da TRG foram publicadas por Einstein no início de 1916, após as tentativas de observações dos eclipses totais do Sol ocorridas em Minas Gerais (1912) e na Criméia (1914).

Em 1915, Einstein chegou à sua Teoria da Relatividade Geral baseado na ideia de que a gravitação resulta da alteração da geometria do espaço-tempo pela presença da matéria. A partir dela, previu que a luz das estrelas, ao seguir a trajetória mais curta neste espaço-tempo curvo, sofreria uma deflexão nas vizinhanças do Sol por um valor que seria o dobro do previsto na Teoria newtoniana, ou seja o ângulo de deflexão deveria ser aproximadamente $1,74''$ (MOREIRA, 2019b, p. 16).

A partir de 1917 e ainda durante a primeira guerra mundial, astrônomos britânicos começaram os preparativos para observar o eclipse solar que aconteceria em 1919 e medir a deflexão da luz de estrelas ao passar nas vizinhanças do Sol (MOREIRA, 2019b), agora com o valor corrigido do ângulo de deflexão. “Para isso, organizaram duas expedições para regiões nas quais o eclipse seria total: uma, com Arthur Eddington e Edwin Cottingham, para a Ilha do Príncipe, e outra, com Charles Davidson e Andrew Crommelin, para Sobral” (MOREIRA, 2019a, p. 32).

Diante desses múltiplos cenários de eclipses totais do Sol, sinalizamos que os observados no Brasil, ou sua tentativa, são o foco de análise deste artigo, o de 1912 e 1919. E, considerarmos a charge um artefato produzido culturalmente, ou seja, um instrumento que associamos com o fazer científico, assim como laboratórios, as publicações e imagens científicas (GUERRA, 2019).

Para este artigo, selecionamos as charges publicadas na revista *O Malho* (1902-1954). Fundada em 1902 na cidade do Rio de Janeiro, capital da República, era uma revista semanal ilustrada de grande circulação, com publicações de charges caracterizadas pela sátira e humor. A revista teve longevidade, sendo publicada até 1954, e contou com os principais chargistas do país (TEIXEIRA, 2001; VISCARDI; SOARES, 2018). A opção pela revista *O Malho* se deu também a partir do trabalho de Moreira (2019a), que cita a charge da figura 1, associado ao fato da revista ser uma das com maior repercussão durante a década de 1910 (TEIXEIRA, 2001; TENÓRIO, 2009).

A partir disso, para encontrar outras charges relacionadas às tentativas de observação dos eclipses totais do Sol, efetuamos buscas na Biblioteca Nacional Digital. Utilizamos como filtros no mecanismo de busca: a revista *O Malho*, a palavra “eclipse”, publicações de 1912 e 1919. Ao todo encontramos sete charges publicadas em 1912. Sendo quatro publicações anteriores à tentativa de observação do eclipse (10/10/1912) e três posteriores e nenhuma publicada no ano de 1919. E, a sequência que aqui apresentamos e analisamos obedece à ordem cronológica de publicação delas.

Figura 1: Por um óculo.



Fonte: *O Malho*, em 07 de setembro de 1912, N. 521.

A charge da Figura 1 é a primeira publicada pela revista *O Malho* em 1912, aproximadamente um mês antes da tentativa de observação do eclipse.

A charge se refere ao contexto histórico do eclipse de 1912. Sua representação humorística teve como objetivo denunciar, criticar e satirizar um fato específico

(MIANI, 2012) – a falta de recursos do Observatório Astronômico do Rio de Janeiro para receber astrônomos estrangeiros e viabilizar a observação do eclipse.

Aragão (2008) lembra que a charge é circunstancial. “O desconhecimento do contexto social no momento de publicação da charge pode levar a incompreensão da mesma” (ARAGÃO, 2008, p. 2979). No entanto, a crítica/sátira comunicada na charge de 1912 caberia ao contexto do eclipse de 1919 e atualmente com os cortes de verbas para pesquisas. A charge anterior rompe a limitação temporal apontada por Romualdo (2000).

Nas semanas que antecederam a chegada das comissões a Sobral, um assunto galvanizou jornais e revistas do Rio de Janeiro: o atraso na liberação dos recursos, já aprovados no orçamento do país, para a comissão brasileira se deslocar para Sobral e preparar a infraestrutura para a recepção das outras comissões (MOREIRA, 2019a, p. 35).

Entre os elementos imagéticos utilizados, temos a representação humana, caricaturada, de Henrique Morize – diretor do Observatório Nacional do Rio de Janeiro. Morize é retratado de joelhos e braços erguidos, observando com um *óculo* (luneta) alguém, de bruços sobre a mesa, na comissão de finanças. Eisner (2010, p. 106) salienta que, em quadrinhos, “a postura do corpo e o gesto têm primazia sobre o texto. A maneira como são empregadas essas imagens modifica e define o significado que se pretende dar às palavras”. A postura corporal de Morize, “ajoelhado e suplicante” que observa, segundo Moreira (2019a, p. 34) “a verba distante e coberta de teia de aranha na comissão de finanças, que tardava a sair”. A postura suplicante de Morize, contradiz a postura corporal que remete à indiferença do personagem na “*comissão de finanças*”, que parece dormir sobre a solicitação relacionada à “*verba do observatório*”.

Ainda sobre quadrinhos em geral, Eisner (2010, p. 114) lembra que a aparência do rosto, familiar aos seres humanos, tem o papel de registrar emoções e “dá sentido à palavra escrita”. Nesta charge, o sol apresenta traços humanizados com um rosto que sorri. Sua expressão facial sugere um sorriso sarcástico, que anuncia que o eclipse está chegando, e o tempo de Morize terminando. A charge é potente também para abordar os meandros do eclipse de 1919.

De fato, a burocracia brasileira quase impediu as observações do eclipse de Sobral! Como reporta jocosamente O Malho (26/04/1919), o presidente do Tribunal de Contas teria sugerido a Morize, diante de mais uma solicitação desesperada para a liberação dos recursos: “Adie-se o eclipse” (MOREIRA, 2019a, p. 35).

Frente à “lentidão burocrática [...] foi a empresa estatal Lloyd Brasileiro que, afinal, emprestou o dinheiro para a expedição da comissão brasileira [...]” (MOREIRA, 2019a, p. 35). Outros signos que trazem significado e que são percebidos pela ampliação do “*óculo*” é a aranha e sua teia. As teias de aranha “denotam itens com os quais somos mais ou menos familiarizados no nosso mundo real” (POSTEMA, 2018, p. 33). Este símbolo icônico agrega significado, pois além de representarem armadilhas para capturar presas, estão associadas a ambientes abandonados.

A charge da Figura 2, publicada apenas 20 dias antes do eclipse de 1912, ainda retrata a falta de recursos financeiros para viabilizar a observação do eclipse e receber as equipes de astrônomos estrangeiros.

Figura 2: Muito Mal...

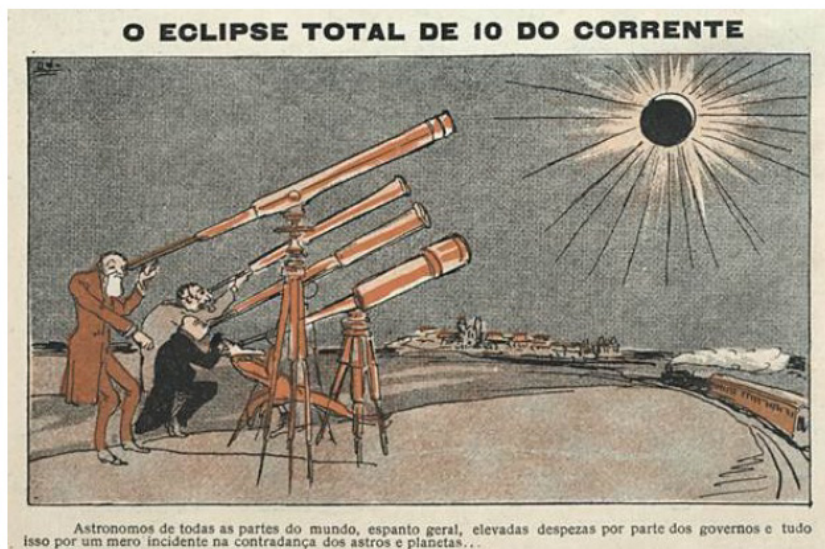


Fonte: *O Malho*, em 21 de setembro de 1912, N. 523.

Novamente Henrique Morize (à direita) é retratado agora, com o então presidente da república (1910-1914), marechal Hermes da Fonseca (à esquerda), que acompanhou a tentativa de observação do eclipse em Passa Quatro (MG) (MOREIRA, 2019a).

Enquanto as duas charges anteriores abordaram a falta de recursos para receber a equipe de astrônomos estrangeiros, a charge da Figura 3, publicada cinco dias antes do eclipse de 1912, ilustra astrônomos observando o eclipse total do Sol e descreve em sua legenda sobre as elevadas despesas por parte dos governos, sendo que existiu atrasos para a aprovação e liberação dos recursos por parte do governo brasileiro (BARBOZA, 2012).

Figura 3: O eclipse total de 10 do corrente.



Fonte: *O Malho*, em 05 de outubro de 1912, N. 525.

Como ilustrado na Figura 3, o eclipse de 1912 atraiu astrônomos de diferentes partes do mundo. Oliveira (2010) destaca que: “Das oito expedições que foram observar o eclipse de 1912 no Brasil, seis eram de outros países (duas inglesas, uma francesa, duas argentinas e uma chilena)” (OLIVEIRA, 2010, p. 2). As expedições “foram enviadas para as cidades de Passa Quatro, Alfenas e Cristina no estado de Minas Gerais e Cruzeiro (SP) [...]” (ibidem) e tinham objetivos de pesquisas diferentes ao observar o eclipse.

As expedições inglesas, incluindo a composta pelos renomados astrônomos Arthur Eddington (do Observatório Real de Greenwich e chefe da expedição) e Charles Davidson, ficaram em Passa Quatro (MG). A expedição chefiada por Eddington ti-

nha como objetivo “estudar a estrutura da coroa solar e verificar a presença de um elemento chamado coronium” (OLIVEIRA, 2010, p. 03). A outra expedição inglesa era do astrônomo amador James Henry Worthington, conhecido como “caçador de eclipse” - um homem rico que investigou assuntos científicos e tinha interesse especial em eclipses (CRISPINO, 2020). A expedição francesa também se instalou em Passa Quatro (MG) e tinha como objetivo realizar estudos da região verde do espectro solar (OLIVEIRA, 2010). Por fim, ficou em Passa Quatro (MG) a comissão brasileira, chefiada por Morize, e tinha como objetivo “realizar estudos sobre o magnetismo e a física do globo e fotografar a coroa solar” (OLIVEIRA, 2010, p. 4).

Na cidade de Cristina (MG) ficaram as comissões argentina e chilena. A expedição argentina, dirigida por Charles Perrine, tentou medir a deflexão da luz de estrelas (MOREIRA, 2019b). Outra expedição argentina, do Observatório Nacional de La Plata, se estabeleceu em Alfenas (MG) (CRISPINO, 2020). A outra comitiva brasileira, do Observatório de São Paulo, enviou uma expedição para a cidade de Cruzeiro (SP) (CRISPINO, 2020). Ficaram em Passa Quatro (MG), portanto, quatro expedições: as duas expedições inglesas, uma brasileira e outra francesa. A concentração das expedições em Passa Quatro não foi ao acaso.

Arthur Eddington estava em dúvida entre as cidades de Cristina (MG) e Cruzeiro (SP). “Além de estarem ambas próximas à linha central da totalidade, elas apresentavam outras características favoráveis para receber as expedições, tais como a altitude beirando os mil metros (‘uma vantagem bastante incomum’), e a proximidade a uma estrada de ferro” (EDDINGTON, 1912 apud BARBOZA, 2010, p. 283). Estas condições tão favoráveis às duas cidades fizeram com que Eddington afirmasse: “Teme-se que praticamente todas as inúmeras expedições enviadas para observar o eclipse irão provavelmente escolher a mesma localidade; isto não é nada desejável, mas é quase inevitável quando um local parece muito mais vantajoso que qualquer outro” (EDDINGTON, 1912 apud BARBOZA, 2010, p. 283).

Mas a previsão de chuva e a possibilidade de atrasos para transportar os pesados equipamentos em virtude de se afastarem da estrada de ferro fizeram com que as expedições inglesas optassem, também, por Passa Quatro (MG) - mesma cidade escolhida pela expedição francesa e brasileira (BARBOZA, 2010).

A charge da figura 3 não identifica a cidade em que a equipe de astrônomos realiza a observação, mas representa algo que foi fundamental para a realização desta prática científica que ocorreu em locais tão peculiares - o trem (canto inferior direito).



Em Passa Quatro, as quatro expedições ficaram na fazenda Bella Vista, de propriedade de Rodolpho Hess. Uma fazenda próxima à ferrovia e distante aproximadamente de 1 km da cidade (CRISPINO, 2020). A escolha do local de observação, além de atender critérios geográficos onde o eclipse solar seria visível em sua totalidade, precisava atender outro critério: ser próximo à ferrovia. Algo fundamental para viabilizar o transporte dos equipamentos utilizados pelas diferentes comitivas.

As expedições inglesas deixaram o Rio de Janeiro em 21 de setembro de 1912, data em que Morize ainda aguardava a liberação de recursos (Figura 2), e pegaram o trem de São Paulo para a Cruzeiro (SP) (CRISPINO, 2020). “Seus instrumentos foram enviados em um trem anterior. Em Cruzeiro, os instrumentos tiveram que ser transferidos para uma linha de bitola estreita, ao longo da qual foram conduzidos, por uma pista de 20 milhas, até Passa Quatro, onde chegaram após uma viagem de 3 horas” (CRISPINO, 2020, p. 6, tradução nossa).

Depois de chegarem em Passa Quatro, no dia 22 de setembro, os equipamentos ainda tinham que ser transportados até a fazenda Bella Vista, local onde seriam montados.

Havia um transporte diário (locomotiva) da cidade de Passa Quatro, onde os cientistas estavam hospedados, até a fazenda dos Hess (distância de cerca de 1 km), onde os instrumentos eram posicionados, saindo da cidade às 8h e voltando às 11h, para o almoço, retornando às 13h e voltando às 18h (CRISPINO, 2020, pp. 06-08, destaque e tradução nossa).

A expedição argentina chegou ao Rio de Janeiro de navio e trouxeram quase duas toneladas de equipamentos (CRISPINO, 2020). Do Rio de Janeiro até Cristina (MG), cidade em que a comitiva se instalou, são aproximadamente 350 km.

O Observatório Nacional do Brasil se encarregou do transporte dos instrumentos da equipe Córdoba do Rio a Cristina, que chegaram ao destino no dia 24 de setembro. O local escolhido por Perrine em Cristina (...) para instalar o seu equipamento, foi aos arredores de um edifício (que, até então, nunca tinha sido utilizado após a sua construção) **situado a cerca de 100 m da estação ferroviária** (CRISPINO, 2020, p. 8, destaque e tradução nossa).

A escolha dos locais de observação próximos às estradas de ferro foram condicionantes e determinantes, já que dezenas de toneladas de equipamentos foram transportados pelas ferrovias do Brasil em 1912 (CRISPINO, 2020). Transportes custeados pelo governo federal brasileiro, como salienta Hussey, chefe da expedição argentina que foi para Alfenas: (...) o Governo Federal pagou as despesas de ferro-

via dos astrônomos visitantes e suas despesas de hotel enquanto eles estiveram na Capital” (HUSSEY, 1913, p. 95, tradução nossa). Custos que, associados a dispensa das taxas alfandegárias sobre os instrumentos transportados pelos astrônomos/cientistas (CRISPINO, 2020), ecoaram na forma de crítica como representado na legenda da figura 3: “[...] elevadas despesas por parte dos governos [...]”.

Outro aspecto que chama a atenção é a articulação do fenômeno eclipse total do Sol, amplamente divulgado na mídia (MOREIRA, 2019a), e um contexto explicitamente político - candidaturas presidenciais. Vide figuras 4 e 5.

De maneira geral, a charge tem a essência de ser uma representação artística que se refere a uma situação do âmbito político, social ou cultural, o que reforça nosso entendimento da charge como um importante elemento histórico.

As charges das figuras 4 e 5 exigem um público atualizado dos principais fatos políticos daquele contexto (ARAGÃO, 2008), assim como da ocorrência do próprio eclipse total do Sol, visível em boa parte do Brasil.

A charge da Figura 4, uma metáfora política, utiliza em seu texto verbal, em forma de legenda, expressões comuns para comunicar o fenômeno celeste que iria ocorrer: “Astronomia”, “phenomenos”, “systema” e “eclypsar”. No entanto, ressignifica estas expressões politicamente: “Astronomia politica”, “soes do sistema planetario da Republica” e “eclypsar os demais”.

Figura 4: O eclipse total de 10 do corrente.



Fonte: O Malho, em 05 de outubro de 1912, N. 525.

Figura 5: Capa da revista *O Malho*.



Fonte: *O Malho*, em 12 de outubro de 1912, N. 526.

Para potencializar a leitura da charge, que estabelece com as notícias daquele momento uma relação intertextual (ROMUALDO, 2000), o leitor precisaria conhecer estes acontecimentos, estas notícias. Importante lembrar que *O Malho* era uma revista ilustrada, que além de charges, trazia desde assuntos corriqueiros aos acontecimentos nacionais mais relevantes (VISCARDI; SOARES, 2018).

Voltando a charges das figuras 4 e 5, quem eclipsa o Sol? Quem eclipsa os demais candidatos à presidência da república? O personagem ilustrado na figura 4 era figura comum em *O Malho* e de grande destaque no cenário nacional naquele contexto: José Gomes Pinheiro Machado.

Pinheiro Machado, como citado na legenda da figura 5, foi um dos políticos mais influentes da República Velha (1889-1930). Apoiador da candidatura de Hermes da

Fonseca em oposição a Rui Barbosa, em 1910, teve o ápice do seu poder, justamente no governo do Marechal Hermes (1910-1914). Era um nome forte para a sucessão presidencial pelo Partido Republicano Conservador.

Na charge da figura 5, que foi capa da revista dois dias depois do eclipse, além do Pinheiro Machado, outros possíveis candidatos à presidência da república são ilustrados: José Joaquim Seabra, Campos Salles, Nilo Peçanha, Dantas Barreto, Rodrigues Alves e Lauro Muller. Este último, acompanhou o eclipse em Passa Quatro ao lado do presidente (Hermes da Fonseca) e do vice-presidente (Venceslau Brás) (CRISPINO, 2020).

Nas duas metáforas políticas, articuladas ao eclipse total do Sol, há a presença de instrumentos utilizados durante a prática científica, como os telescópios (figura 5) e a necessidade de “vidros esfumados” (MOREIRA, 2019a) para observar o Sol (figura 4). Na figura 4, um detalhe que chama a atenção é a representação de estrelas durante o eclipse. Estrelas com suas luzes desviadas que só são observáveis durante o céu diurno nesta condição de Sol eclipsado, tão particular e tão perseguida por astrônomos em 1912 e 1919, no Brasil.

Na charge da figura 5, além dos políticos do cenário nacional, há a representação de outro personagem (Zé, na legenda) que valida a afirmação de Pinheiro Machado, se referindo a ele como “chefão”. O personagem Zé Povo, presença constante nas charges de *O Malho*, é visto por Tenório (2009) como “porta-voz da cidadania republicana” e também “das posições” da revista *O Malho*.

Em 1910 a revista *O Malho* mudou de dono. O novo proprietário era Antônio Francisco de Azeredo, jornalista e político - foi deputado e senador (por três décadas). Antônio Azeredo era “amigo do líder político gaúcho Pinheiro Machado, com quem fundou em 1910 o Partido Republicano Conservador (PRC). Tornou-se membro da comissão executiva do partido e uma de suas figuras mais importantes” (ABREU, 2015, p. 01).

Além de político, Antônio Azeredo atuou fortemente na imprensa. Sendo proprietário da revista *O Malho*, entre 1910 e 1918, fundador e responsável pela redação da *Gazeta da Tarde* e do jornal *Diário de Notícias*. Foi, também, proprietário e redator chefe da *A Tribuna* (ABREU, 2015). “De modo geral, lançava mão de seu prestígio político, dos periódicos sob seu controle e das relações com o Poder Executivo federal para manter e ampliar sua base política no estado” (ABREU, 2015, p. 01). Nesta direção, Teixeira (2001, p. 39) aponta para

o esvaziamento do conteúdo político e a conseqüente perda de agressividade da charge na República Velha – matérias-primas com que ela constrói sua linguagem e marca fundamental de sua futura modernidade – resultam agora num traço de exaltação e aliança com os políticos, às vezes francamente favorável, como nos governos de Rodrigues Alves e Afonso Pena, às vezes levemente satíricas, como nos de Campos Sales e Hermes da Fonseca (TEIXEIRA, 2001, p. 39).

Outro aspecto abordado nas charges se relaciona ao comportamento de animais durante o eclipse e as crendices populares - Figura 6. A mudança no comportamento animal em decorrência do ciclo claro-escuro é salientada por Portugal (2019):

De todos os eventos cósmicos, os eclipses solares provocam talvez a maior mudança no comportamento animal. Animais confusos que estão ativos durante o dia voltam para suas residências noturnas (...). Em todo o mundo, incidências incomuns de comportamento são geralmente relatadas enquanto todos os outros estão assistindo ao eclipse (PORTUGAL, 2019, tradução nossa e online).

Figura 6: A redor do eclipse.



Fonte: O Malho, em 12 de outubro de 1912, N. 526.

Incidência retratada na charge que ilustra o comportamento das galinhas durante o eclipse: “As galinhas, na hora do eclipse, pensando que a noite é chegada, procuram o poleiro e agasalham-se para dormir”.

A alteração na luminosidade durante o eclipse foi salientada por Eddington, um dos astrônomos presentes: “O rápido aumento da escuridão algum segundo antes da totalidade foi muito impressionante, assim como o foi o brilho quase instantâneo quando acabou. Provavelmente o estado da atmosfera fez com que o eclipse fosse incomumente escuro” (CRISPINO, 2020, p. 21, tradução nossa).

A Figura 6 ilustra, ainda, o alívio das “beatas” após o final do eclipse. Nesta direção, Moreira (2019a) aponta que uma das matérias mais comuns da mídia sobre a cobertura dos eclipses foram os “textos que tratam de crendices e medos em relação ao eclipse” (MOREIRA, 2019a, p. 33).

Em 1919, alguns dias antes da observação do eclipse de Sobral, Morize publicou um artigo em *A Tribuna* explicando o eclipse como um fenômeno natural e “menciona os temores a ele associados pelos povos ‘selvagens’ e conclama a população a se manter em completa calma [...]” (MOREIRA, 2019a, p. 36, grifo do autor).

A última charge publicada pela revista *O Malho* em 1912, nove dias depois do eclipse, é a da Figura 7.

Figura 7: O que foi o eclipse.



Fonte: *O Malho*, em 19 de outubro de 1912, N. 527.

A charge ilustra alguns cuidados que repercutiram nos jornais para observar o eclipse, como “a necessidade do uso de vidros esfumados para se olhar o Sol” (MOREIRA, 2019a, p. 36). Um detalhe que chama a atenção é a utilização de janelas quebradas para observar o Sol, uma prática realizada pela população em situações de eclipse total do Sol, como ocorreu também em 1919.

Mas a charge evidencia, principalmente, como os jornais e revistas repercutiram a tentativa de observação do eclipse: “O fracasso molhado, retumbante e em toda a linha das observações do eclipse de 1912, em função das chuvas generalizadas persistentes no dia do eclipse [...]” (MOREIRA, 2019a, p. 35). E, por estas condições climáticas, a primeira tentativa de fotografar as luzes de estrelas “próximas” do Sol não foi realizada.

Infelizmente, nuvens pesadas cobriram o céu em Passa Quatro por alguns dias [...], incluindo toda a duração do eclipse. No dia do eclipse, os astrônomos estavam prontos, apesar da chuva, pois deveria haver esperança de que, pelo menos durante a totalidade, pudesse ser avistada a porção do céu com o Sol eclipsado, mesmo que através das nuvens. Infelizmente, não foi o que aconteceu em Passa Quatro, nem em qualquer outra estação de observação do Brasil (CRISPINO, 2020, p. 19, tradução nossa).

Mas será que, como diz a legenda da charge, a tentativa de observação do eclipse de 1912 “Foi um ogro completo!”? O chefe da expedição argentina organizada pelo Observatório Astronômico da La Plata salienta em seu relatório:

Não pudemos observar o eclipse, mas nossa viagem não foi totalmente inútil, pois tivemos a oportunidade de trocar ideias com os astrônomos das expedições argentinas, chilenas, francesas e inglesas. Além disso, adquirimos informações interessantes para futuros eclipses, especialmente o que ocorrerá em maio de 1919, cuja zona total cruzará o semi-árido Ceará, cuja falta de chuvas garante de antemão uma feliz observação (HUSSEY, 1914, p. 97-98, tradução nossa).

Embora a expedição de La Plata não estivesse envolvida em medidas da deflexão da luz, o relatório de Hussey evidencia a troca de informações entre os astrônomos e a busca por observar e registrar o “efeito Einstein” ainda seria tentado em outras situações futuras de eclipse total do Sol.

Moreira (2019a) lembra que nesta tentativa frustrada de medir a deflexão da luz de estrelas pela expedição argentina do Observatório Nacional Argentino, lideradas por Perrine, vieram Davidson e Eddington - astrônomos que desempenharam importante papel na observação do eclipse de 1919. Nas medidas da deflexão da luz

de estrelas pelo campo gravitacional do Sol, realizadas em 1919 em Sobral (Brasil) e Ilha do Príncipe (África), Davidson e Eddington, que estiveram no Brasil em 1912, foram para Sobral e Ilha do Príncipe, respectivamente.

Em 1912, a expedição britânica que Davidson e Eddington faziam parte não tinha como objetivo medir a deflexão da luz, mas a cooperação com Perrine e Morize foram determinantes para 1919. Como Moreira (2019a), entendemos que “as relações e cooperações entre vários astrônomos que estiveram naquela região para observar o eclipse e que interagiram, como Eddington, Perrine, Morize e Davidson, foram importantes e ajudariam na preparação das observações bem-sucedidas do eclipse de Sobral, sete anos depois” (MOREIRA, 2019a, p. 35).

Crispino (2020) aponta o provável desconhecimento do efeito Einstein em 1912 por Davidson e Eddington. Já conhecido por Perrine, que objetivava verificar experimentalmente o desvio da trajetória da luz ao percorrer um espaço curvo já em 1912:

Vale ressaltar o fato de Davidson e Eddington conhecerem Perrine no Rio de Janeiro, em 1912. Na ocasião, um dos principais objetivos da expedição de Perrine era verificar o efeito de curvatura da luz de Einstein, durante a expedição de Greenwich visava essencialmente estudar as propriedades da coroa solar e, muito provavelmente, Eddington e Davidson não estavam cientes desse efeito de Einstein (CRISPINO, 2020, p. 26, tradução nossa).

Na mesma direção, Moreira salienta: “Possivelmente foi na interação entre Perrine e Eddington (comprovada por carta deste para sua mãe), no Rio de Janeiro, antes do eclipse de 1912, que o astrônomo britânico teve conhecimento da previsão de Einstein sobre a possível deflexão do raio luminoso nas vizinhanças do Sol” (MOREIRA, 2019b, p. 18).

Em 29 de maio de 1919 ocorreram as observações astronômicas realizadas durante o eclipse total do Sol, na cidade de Sobral, no interior do Ceará, Brasil – comumente chamado de Eclipse de Sobral. A partir do sucesso dessa expedição e das medidas realizadas em Sobral, Einstein passou a ter enorme repercussão mundial (VIDEIRA, 2005). O evento foi tão importante, que o próprio Einstein declarou para a imprensa quando esteve no Brasil em 1925 que: “*O problema concebido pelo meu cérebro foi resolvido pelo céu luminoso do Brasil*”. Albert Einstein, em entrevista a Assis Chateaubriand, no *O Jornal*, em 1925.

Implicações para o ensino de Física e algumas considerações

A análise das charges na perspectiva da História Cultural da Ciência (HCC) articulada à noção de textualização, buscou evidenciar processos de representação de uma prática científica relacionadas às medidas da deflexão da luz em eclipses totais do Sol. Assim, procurou abordar lugares em que esta prática foi produzida, as redes feitas pelas pessoas e dar visibilidade a personagens que não são centrais (MOURA; GUERRA, 2016). Desta forma, para além do conhecimento conceitual, procuramos caminhar em direção a uma abordagem social, política (MOURA; GUERRA, 2016; MOURA, 2019) e também textual.

As tentativas de observação do eclipse do Sol, em 1912, no Brasil, destinadas a testar as previsões de Einstein por Perrine e seus colegas do Observatório Nacional de Córdoba é um episódio “ignorado em praticamente todos os livros e artigos relativos ao tema, inclusive em textos especializados na história da relatividade geral [...]” (MOREIRA, 2019b, p. 11). Moreira (2019b) aponta, ainda que

[...] em muitos livros e artigos sobre relatividade geral, cosmologia ou história da ciência, desde textos mais técnicos até os de divulgação científica, floresceu uma deturpação histórica que atribui com frequência o mérito único dessas medidas a Eddington, certamente o personagem de maior destaque no processo, mas não o único com importância (MOREIRA, 2019b, p. 10).

Neste sentido, a utilização das charges na perspectiva da HCC pode favorecer a visibilidade de ações produzidas por outros atores (MOURA, 2019), como Morize e Perrine, e possibilitar discussões no contexto do ensino de Física de práticas científicas não comumente abordadas, por não serem consideradas práticas de “sucesso”.

No episódio do eclipse de 1919, Morize desempenhou um trabalho imprescindível na preparação e realização da observação que ocorreu em Sobral (MOREIRA, 2019; ABALADA; GUERRA, 2020). O reconhecimento do papel central de Morize se deu através de cartas e relatórios (ABALADA; GUERRA, 2020), mas não “[...] valoriza adequadamente o importante trabalho para o sucesso das expedições, que foi realizado pela comissão brasileira, chefiada por Henrique Morize” (MOREIRA, 2019b, p. 15).

Nesta direção, Abalada e Guerra (2020, p. 13) salientam que “[...] a forma como o discurso é feito mostra como, na realidade, os membros da equipe brasileira [...]”

não são reconhecidos como pertencentes a prática e detentores do conhecimento aqui construído”.

Morize teve um papel central na observação do eclipse de 1919, para a realização desta prática científica (ABALADA; GUERRA, 2020). Como apontam Abalada e Guerra (2020, p. 03) “[...] as expedições precisavam ser organizadas para a prática acontecer, já que em nenhuma das ocasiões a faixa de totalidade atingiu as regiões nas quais os observatórios se localizavam”. Mas Morize foi fundamental, também, no eclipse de 1912 (CRISPINO, 2020). Outra personagem central é Perrine, comumente ocultado em detrimento a Eddington, como salienta Moreira (2019b, p. 10): “[...] a figura isolada de Eddington é quase sempre associada ao empreendimento coletivo e os outros participantes do processo são ocultados”.

Moreira (2019b) se refere à importância do eclipse de Sobral em 1919 e de outros astrônomos que participaram da observação e questiona: “por que a importância de Sobral e de outros astrônomos nas observações do eclipse de 1919 é minimizada em relação à da Ilha do Príncipe e à de Eddington? Por que Sobral e os outros astrônomos ficam quase sempre eclipsados?” (MOREIRA, 2019b, p. 14).

Como Abalada e Guerra (2020), acreditamos que a ênfase da observação na Ilha do Príncipe e em Eddington decorrem de “[...] visões historiográficas eurocêntricas, que costumam colocar o continente como o único produtor de conhecimento, impondo uma posição periférica a outros países, como é o caso do Brasil” (ABALADA; GUERRA, 2020, p. 1).

Assim, procuramos dar um passo para a superação dessas abordagens, resgatando outros atores sociais envolvidos na construção do conhecimento e das redes de relações estabelecidas entre as pessoas em 1912, como a interação de Eddington, Perrine e Morize. Interações fundamentais para a preparação das observações em 1919, assim como o provável conhecimento da previsão de Einstein por Eddington a partir da interação com Perrine em 1912 no Brasil (MOREIRA, 2019b). Esta interação entre Perrine, Eddington e Morize permite destacar outras práticas científicas, que não se restringem a atividades experimentais (MOURA; GUERRA, 2011). Mody (2015) aponta que

Tanto quanto os cientistas praticam a leitura e a escrita, eles também falam e ouvem: em conferências, em salas de aula, perante potenciais financiadores, em clubes de jornalistas, para grupos cívicos, etc. Falar ajuda os cientistas a disseminar as suas ideias, claro, mas também a lançar, aperfeiçoar, e testá-las (MODY, 2015, p. 1028, tradução nossa).

A busca por financiamento e falta de recursos, contexto explorado nas charges em 1912 e que se repetiu em 1919, pode potencializar conexões com questões da Ciência mais contemporâneas, como os cortes orçamentários de verbas para as pesquisas. Abordagens em situações de ensino em que “a consequência não é buscar no contemporâneo algo que se aprendeu sobre a ciência no passado, mas sim pôr em discussão o presente à luz do passado” (MOURA, 2019, p. 183).

Os lugares em que a Ciência é produzida e seus contextos, como nos eclipses de 1912 e 1919, são outros aspectos que podem ser explorados em situações de ensino e potencializados a partir da articulação das charges na perspectiva da HCC. A observação de eclipses total do Sol, uma prática experimental que depende de inúmeras condições, como as condições meteorológicas e locais propícios de observação, são comumente realizadas longe das grandes cidades e centros de pesquisa.

Barboza (2010) salienta que a visibilidade dos fenômenos astronômicos em grandes cidades pode ser prejudicada por condições como a poeira, fumaça e poluição luminosa. No entanto, como apontam Abalada e Guerra (2020), esta prática depende de condições como “mobilização política, transporte de pessoas e equipamentos, análise e organização prévia do local de observação, estudo de condições climáticas do local, contribuição de nativos da região, boa relação entre os países envolvidos, utilização de tradutores e muitas outras condições iniciais” (ABALADA; GUERRA, 2020, p. 3).

Assim, os fatores que foram decisivos para a escolha de Sobral, em 1919, e das cidades mineiras e paulista, em 1912, como a proximidades dos pontos de observação às ferrovias para o transporte dos equipamentos, podem ser explorados na construção de episódios históricos de ensino sobre aspectos da Teoria da Relatividade Geral (TRG).

O transporte dos equipamentos das diferentes expedições astronômicas, em 1912 e 1919, custeados pelo governo brasileiro, se entrelaça com outras práticas invisibilizadas em 1919, como a participação de pedreiros, carpinteiros e intérprete colocados à disposição dos ingleses (ABALADA; GUERRA, 2020). Os habitantes de Sobral foram responsáveis pela construção de estruturas “para proteger e sustentar os equipamentos” (ABALADA; GUERRA, 2020, p. 13). Personagens que se somam a Morize e Perrine para o sucesso da observação astronômica que corroborou empiricamente com uma das bases da TRG.

Abordagens históricas a partir das charges, na perspectiva da HCC articulada com a noção de *textualização*, podem favorecer a superação disciplinar da produção das Ciências, já que além da dimensão conceitual, os contextos histórico-culturais e as especificidades das linguagens e dos textos envolvidos são consideradas (SILVA, 2019).

Nesta direção, procuramos articular especificidades da linguagem dos quadinhos ao contexto histórico-cultural, por exemplo, na charge da Figura 1. Assim, pela noção de *textualização*, superamos um viés conteudista. A análise das charges, portanto, não deu ênfase apenas às noções científicas ou aos fatos históricos, mas às suas representações materializadas por e em objeto cultural de mediação entre ciência e público, um objeto ainda contemporâneo, como as charges, e que possui, além disso, características específicas enquanto texto que se tornam também conteúdos do ensino.

Como Silva (2019), acreditamos que a noção de *textualização* é “um caminho frutífero para construir análises e leituras de textos que remetem à ciência que possam gerar mediações pedagógicas mais coerentes com uma concepção cultural da escola, das ciências da natureza e da educação em ciências” (SILVA, 2019, p. 16). Mediações pedagógicas que podem favorecer o exercício de análise do texto charge pelos estudantes, dando visibilidade a outros elementos/contextos/personagens/meandros e aos próprios textos, enquanto artefatos culturais, que podem ter sido “eclipsados”.

O artefato cultural textual charge é uma das primeiras manifestações artísticas incorporadas nos meios de comunicação de massa e presentes nos dias de hoje em diferentes mídias e plataformas de circulação. Ao levarmos este texto para a sala de aula, na perspectiva da noção de *textualização*, podemos “analisar, identificar e descrever [suas] características, estruturas, regularidades” (SILVA, 2019, p. 09). Desta forma, a articulação da HCC com a noção de *textualização*, pode contribuir para mediações pedagógicas no ensino *em, sobre e pelas* Ciências, a partir *do, sobre e pelo* texto, contribuindo para o aprimoramento da leitura da ciência enquanto prática cultural.

Ao tomarmos as charges como objetos de estudo, a partir da noção de *textualização*, no âmbito da perspectiva da HCC, procuramos realizar um “exercício com potência deslocadora, política, epistemológica, educacional e culturalmente. Uma

potência com implicações para reposicionamentos pelos sujeitos leitores e para mediações de suas leituras” (SILVA, 2019, p. 29).

Por fim, não encontramos charges na revista *O Malho* sobre o episódio do eclipse de 1919. Mas, acreditamos que os elementos aqui apresentados evidenciam potencialidades da utilização de charges no ensino de Física numa perspectiva por meio da HCC articulada à *textualização*, onde a charge é divulgação e elemento constitutivo de uma prática científica. Acreditamos, ainda, que a análise pode sinalizar uma relação que por vezes não é tão simples, a saber: a relação do texto e seus meandros com a linguagem, suas práticas sociais, cultural e política de produção, com a dimensão conceitual, coletiva, histórica e epistemológica da produção da ciência.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio recebido do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Cartoons and the cultural history of science: the eclipse and the light deflection

Abstract

This paper aims to analyze historical *and* textual aspects in cartoons related to attempted observations of the deflection of light in eclipses that happened in Brazil in 1912 and 1919, based on the Cultural History of Science linked with the notion of *textualization*. Therefore, we didn't analyze the *text* (cartoon) apart from knowledge and practices related to the historical episodes. The analyzed cartoons were published in *O Malho*, an illustrated magazine with great circulation and repercussion in the 1910s. The selection of cartoons was made by searches in the Digital National Library. The analysis demonstrated representation processes of a commonly made unseen scientific practice, namely the attempted observations of the solar eclipse in 1912; it favored the visibility of actions from actors such as Henrique Morize and Charles Dillon Perrine; it highlighted scientific practices such as interactions between Perrine and Eddington, the search for funding and delays on getting financial resources and factors which were determining for choosing the observation points, e. g. their proximity to railroads. These elements substantiate the potentialities of using cartoons in Physics Teaching, in the perspective of the Cultural History of Science related to the notion of *textualization*, where the cartoon is both the publicizing *and* cultural element, constitutive of a scientific practice. The analysis indicates the relation between text/language with the conceptual, collective, historical, and epistemological dimensions of the production of science.

Keywords: Cultural History of Science; *Textualization*; Cartoons; Light deflection; Eclipse.

Referências

- ABALADA, Pedro; GUERRA, Andreia. Brasileiros e brasileiras e o eclipse de Sobral de 1919: um olhar a partir da História Cultural da Ciência. **SEMINÁRIO NACIONAL DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA**, 17, Rio de Janeiro, 2020.
- ABREU, Alzira Alves de. **Dicionário histórico-biográfico da Primeira República (1889-1930)**. Editora FGV, 2015.
- ARAGÃO, Verônica Palmira Salme. Charge e cartum: uma perspectiva semiolinguística do discurso. In: **XI Simpósio Nacional de Letras e Linguística e I Simpósio Internacional de Letras e Linguística**, Uberlândia. Múltiplas perspectivas em Linguística. Uberlândia: EDUFU, p. 2975-3007, 2008.
- ASSIS, Lúcia Maria de; MARINHO, Elyssa Soares. História em quadrinhos: um gênero para sala de aula. In: NASCIMENTO, Luciana; ASSIS, Lúcia Maria de; OLIVEIRA, Aroldo Magno de (Org.). **Linguagem e ensino do texto: teoria e prática**. São Paulo: Blücher, 2016.
- BARBOZA, Christina Helena da Motta. Ciência e natureza nas expedições astronômicas para o Brasil (1850-1920). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, v. 5, n. 2, p. 273-294, v. 5, p. 273-294, maio-ago. 2010.
- BARBOZA, Christina Helena. Encontros e desencontros na observação do eclipse solar de 10 de outubro de 1912. **SEMINÁRIO NACIONAL DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA**, 13, 2012.
- BARROS, José D'Assunção. História Cultural – um panorama teórico e historiográfico. **Textos de História**, v. 11, n. 1-2, p. 145-171, dezembro, 2003.
- BURKE, Peter. **O que é história cultural?** Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2008.
- CAMEL, Tânia de Oliveira; MOURA, Cristiano Barbosa de; GUERRA, Andreia. Revolução Química e Historiografia: uma releitura a partir da História Cultural da Ciência para o Ensino de Química. **Educación Química**, v. 30, n. 1, p. 136-148, 2019.
- CRISPINO, Luís Carlos Bassalo. The October 10, 1912 solar eclipse expeditions and the first attempt to measure light bending by the Sun. **International Journal of Modern Physics D**, v. 29, n. 11, p. 1-30, 2020.
- EISNER, Will. **Quadrinhos e arte sequencial**. São Paulo: Martins Fontes, 2010.
- FIORAVANTI, Carlos Henrique; ANDRADE, Rodrigo de Oliveira; MARQUES, Ivan da Costa. Os cientistas em quadrinhos: humanizando as ciências. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 23, n. 4, p. 1191-1208, 2016.
- GUERRA, Andreia. Educação Científica numa abordagem histórico-cultural da ciência. In: SILVA, Ana Paula Bispo da; MOURA, Breno Arsioli (Org.). **Objetivos humanísticos, conteúdos científicos: contribuições da história e da filosofia da Ciência para o ensino de Ciências**. Campina Grande: EDUEPB, 2019.
- GONÇALVES, Roberta Ferreira. As Aventuras d'O Tico-Tico: formação infantil no Brasil Republicano (1905-1962). 2019. Tese (Doutorado em História) - Universidade Federal Fluminense, 2019



HUSSEY, William Joseph. El Eclipse del 10 de Octubre de 1912: **La Expedición del Observatorio de La Plata**. Publicaciones del Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de La Plata; Tomo 1. 1914.

JACQUES, Vinicius. Charge Metafórica em Sala de Aula: a Maçã de Newton e os Ombros de Gigantes. In: SILVA, Henrique César da (Org.). **Ciências, Seus Textos e Linguagens: Ensaio sobre Circulação e Textualização de Conhecimentos Científicos e Matemáticos**. 1a ed. Curitiba: CRV, 2019.

MIANI, Rozinaldo Antonio. Charge: uma prática discursiva e ideológica. **9ª Arte**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 37-48, 2012.

MODY, Cyrus. C. M. Scientific Practice and Science Education. **Science Education**, v. 99, n. 6, p. 1026–1032, 2015.

MOREIRA, Ildeu de Castro. O eclipse solar de 1919, Einstein e a mídia brasileira. **Ciência e Cultura**, v. 71, n. 3, p. 32-38, 2019a.

MOREIRA, Ildeu de Castro. **O eclipse de 1919: a comprovação da Teoria da Relatividade Geral, a física moderna e o Observatório Nacional**. In: BOZI, Alba Livia Tallon; PESSOA, Marília (org.); JONES, Awená; BAGANHA, Fernando; ADLINGTON, Jane (trad.). Rio de Janeiro: Observatório Nacional, 2019b.

MOURA, Cristiano Barbosa de; GUERRA, Andreia; AMARAL, Priscila do; OLIVEIRA, Fabiano. Entre o histórico e o contemporâneo: abordando as práticas científicas em um curso sobre história e filosofia das ciências. **Enseñanza de las ciencias**, n. Extra, p. 3517-3524, 2017.

MOURA, Cristiano Barbosa de. **Educação Científica, História Cultural da Ciência e Currículo: Articulações Possíveis**. 2019. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Educação) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2019.

MOURA, Cristiano Barbosa de; GUERRA, Andreia. História Cultural da Ciência: Um Caminho Possível para a Discussão sobre as Práticas Científicas no Ensino de Ciências? **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 3, p. 725-748, 2016.

MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. **Os eclipses da superstição a previsão matemática**. Ed. Unisinos, 1993.

OLIVEIRA, Raquel dos Santos. O eclipse de 1912 e a correspondência entre os astrônomos Morize e Perrine. **Anais do XIV Encontro Regional da ANPUH-RIO: Memória e Patrimônio**. 2010.

PERON, Thiago da Silva; GUERRA, Andreia. A História Cultural da Ciência, cinema e o ensino das leis de Newton. **Enseñanza de las ciencias**, n. Extra, p. 3809-3814, 2017.

PIMENTEL, Juan. ¿Qué es la historia cultural de la ciencia? **Arbor**, v. 186, n. 743, p. 417-424, 2010.

PORTUGAL, Steve. **Lunar and solar eclipses make animals do strange things**. The Conversation, United States, 03 de jul. de 2019.

POSTEMA, Bárbara. **Estrutura narrativa nos quadrinhos: construindo sentido a partir de fragmentos**. São Paulo: Editora Peirópolis, 2018.

RAMOS, Paulo Eduardo. **A leitura dos quadrinhos**. São Paulo: Editora Contexto, 2010.

ROMUALDO, Edson Carlos. **Charge jornalística: intertextualidade e polifonia: um estudo de charges da Folha de S. Paulo**. Maringá: Eduem, 2000.

SANTOS, Maria Eduarda do Nascimento Vaz Moniz dos. Encruzilhadas de mudança no limiar do século XXI: coconstrução do saber científico e da cidadania via ensino CTS de ciências. In: **Anais do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Valinhos, 1999.

SECORD, James A. Knowledge in transit. **Isis**, v. 95, n. 4, p. 654-672, 2004.

SILVA, Henrique César da. A noção de textualização do conhecimento científico: veredas pelos estudos da ciência, conexões pela educação em ciências. In: SILVA, Henrique César da (Org.). **Ciências, Seus Textos e Linguagens: Ensaio sobre Circulação e Textualização de Conhecimentos Científicos e Matemáticos**. 1a ed. Curitiba: CRV, 2019.

TEIXEIRA, Luiz Guilherme Sodré. **O traço como texto: a história da charge no Rio de Janeiro de 1860 a 1930**. Rio de Janeiro: Fundação Casa de Rui Barbosa, 2001.

TENÓRIO, Guilherme Mendes. **Zé Povo cidadão: humor e política nas páginas de O Malho**. Rio de Janeiro: UERJ, 2009. Dissertação, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em História, 2009.

VERGUEIRO, Waldomiro. Uso das HQs no ensino. In: RAMA, A.; VERGEIRO, W. **Como usar as histórias em quadrinhos na sala de aula**. 4a ed. São Paulo: Editora Contexto, 2018.

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos. Einstein e o Eclipse de 1919. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, p. 83-87, 2005.

VISCARDI, Cláudia Maria Ribeiro; SOARES, L via Freitas Pinto Silva. Votos, partidos e eleições na Primeira República: a dinâmica política a partir das charges de O Malho. **Revista de História**, São Paulo, n. 177, 2018.



O ensino de História e Filosofia da Termodinâmica como meio para o pensamento complexo

Louise Trivizol*, Sílvia F. de M. Figueirôa**

Resumo

Esse trabalho apresenta tópicos de natureza das ciências e da história e filosofia da Termodinâmica que consideramos úteis ao ensino, tanto para a educação básica quanto para a formação de professores. Para a apresentação dos tópicos, tomamos como categoria de análise afirmações de Natureza das Ciências (NdC). Nossa concepção de ensino prioriza a transdisciplinaridade e a abordagem de temas afeitos a demandas contemporâneas, como a mudança climática, por exemplo, visando os objetivos expressos pela Alfabetização Científica (AC). O maior desses objetivos sendo a capacitação para tomada de decisões cientificamente informadas para melhor participação cidadã. Justificamos a utilização de temas de NdC pela possibilidade que oferecem de pensar ações pedagógicas alinhadas a concepções contemporâneas em filosofia das ciências, bem como com a historiografia das ciências. A presente pesquisa se insere na necessidade de forçar – procurando romper – pontos frágeis de velhos paradigmas que ainda permeiam e, silenciosamente, conduzem nossa visão de mundo. E que, muitas vezes, negam o benefício de uma atitude crítica e integrativa, informada sobre os meandros e a complexidade da ação humana no mundo, sobretudo a científica. A pesquisa conta com o aporte epistemológico de Ludwik Fleck e busca relações entre a teoria Termodinâmica e o pensamento complexo de Edgar Morin. Tais aproximações podem ser frutíferas aos objetivos da AC, tendo em vista as emergências planetárias que pedem posturas positivas frente à incerteza do futuro.

Palavras-chave: Ensino de Ciências, Natureza da Ciências, História da Termodinâmica, Incerteza, Complexidade.

Mestranda em Ensino de Ciências e Matemática no Programa Pós-Graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Estadual de Campinas. E-mail: lui.t.assis@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8727-3412>

** Professora Titular da Faculdade de Educação e no Programa Pós-Graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Estadual de Campinas. E-mail: silviamf@unicamp.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0791-2232>

10.5335/rbecm.v4i3.12902

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

ISSN: 2595-7376



Introdução

O Ensino de Ciências (EC) e áreas afins possuem alguns marcos e condições históricas que engendraram a produção nesse campo e culminaram em questões que nos parecem, atualmente, de grande urgência para a educação científica. A saber, uma revisão nas estratégias de ensino para dar conta das demandas geradas nos campos de História e Filosofia das Ciências (HFC), que há décadas trazem resultados para o Ensino de Ciências. Entendemos que existem conhecimentos a reter da estrutura das ciências que elucidam sua produção, mostrando-se úteis à instrução da população em geral e, sobretudo, aos estudantes e professores de ciências (MATTHEWS, 1995; MOURA, 2014; CLOUGH, 2017; PEDUZZI; RAICIK, 2020; TEIXEIRA et al., 2009; ADURÍZ-BRAVO, 2014). Os professores, em especial, detêm uma posição social cuja capacidade multiplicadora de visões menos estreitas e mais verossímeis das ciências, por nós defendidas, é apreciável. Ao longo dos últimos 40 anos, alguns artigos têm sido, ao mesmo tempo, marcos temporais e “clássicos” na área. Derek Hodson (1985) e Michael Matthews (1995) são exemplos de trabalhos que permitiram algumas generalizações sobre a situação e as possibilidades do ensino científico de forma geral. O diagnóstico da compreensão superficial e estigmatizada das ciências, fortalecida pela imagem popular de que “a Ciência” é um conjunto de conhecimentos descobertos, finalizados e acumulados a partir da aplicação de um método objetivo e neutro, revelou-se sintoma de uma educação científica a demandar reformulações. Os currículos elaborados pela Associação Americana para o Progresso da Ciência (AAAS, em inglês), o Projeto 2061, e o Currículo Nacional Britânico de Ciências deram o tom para uma educação científica que se fortificava ao incorporar as *dimensões histórica e filosófica* do saber científico, a fim de demonstrar *aspectos e fundamentos* das ciências que não são captados apenas pelo ensino instrumental dos produtos científicos (MATTHEWS, 1995, p. 67; MOURA, 2014, p. 37). Buscava-se promover uma compreensão científica mais abrangente, ampliando as possibilidades de ensino e aprendizagem, bem como construir um conhecimento *sobre* as ciências mais verossímil, reconhecendo as dimensões sociais e históricas do saber científico.

Em seu artigo, Hodson (1985) discute vícios na imagem das ciências (empirismo ingênuo, cientista “desinteressado”, os mitos de neutralidade científica e unicidade do método, por exemplo) presentes em professores e alunos de ciências, infelizmente ainda persistentes na atualidade (LEDERMAN et al., 2002; EL-HANI, 2006; TEI-



XEIRA et al., 2009, CLOUGH, 2017). O autor é categórico quanto à necessidade de explicitar a epistemologia que sustenta e coordena as ações e políticas pedagógicas. Sem uma abordagem explícita sobre proposições epistemológicas, isto é, sobre o *modo como o conhecimento científico é produzido* e o conteúdo histórico das teorias científicas, o que vem a ocupar o papel no imaginário de docentes e estudantes é a referida imagem estática e cumulativa das ciências. Não há produção de saber que não suponha (e produza, também) uma concepção epistemológica (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p. 21). Essa é, inclusive, uma das homologias que podemos esboçar entre atividade científica e os atos de ensinar e aprender. Se a atividade científica se refere à construção em “primeira mão” de um conhecimento que se estabilizará pela difusão e uso na comunidade científica, a aprendizagem trata da (re)construção de um conhecimento científico em cada indivíduo, que também se estabiliza ao difundir-se pela vida cultural e social do mesmo. Assim, conhecer um mínimo sobre *epistemologia* pode auxiliar estudantes na reflexão sobre seu processo de aprendizado, numa atitude metacognitiva, já que epistemologia consiste, de modo geral, em inquirir sobre o “*crescimento do conhecimento*” via registro/interação do sujeito (JAPIASSÚ; MARCONDES, 2008). Vale frisar que o conhecimento científico e o escolar têm funções e objetivos que diferem em grau e em natureza.

Desde então, a produção acadêmica tem criticado o modelo tradicional de educação científica conteudista e técnica, pautada por uma racionalidade científica instrumentalista que gera visões equivocadas do trabalho científico (PÉREZ et al., 2001; LEDERMAN et al., 2002; PRAIA; GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007; CLOUGH, 2017). Tal modelo educacional é popularmente referido como “neopositivista”, pois guarda semelhanças com a escola filosófica do Círculo de Viena, do início do século XX, como o culto à ciência como caminho para o progresso da humanidade. No entanto, ainda se mostra necessário interrogar a validade desse paradigma já que ele foi e é, sob muitos aspectos, a concepção educacional mais encontrada em salas de aula (e laboratórios), explícita ou implicitamente. Desde o início do século XX, “a Ciência”, monolito de conhecimento que pairava plácido acima da ignorância humana, percebeu-se em vertigem ao olhar para suas fundações. A crise do pensamento moderno e seus desdobramentos, sabemos, não permitiu que a ênfase numa razão asséptica passasse sem críticas ao longo do último século. A pesquisa em educação científica foi informada e transformada pelas produções que impactaram a História e Filosofia das Ciências (HFC) desde os anos 1960, bem como pelas discussões que

conformaram o campo dos Estudos Sociais das Ciências (ESC) na década de 1970. As produções dessas áreas, regra geral, denunciaram os critérios científicos de “objetividade”, “universalidade” e “observação neutra” como construtos humanos – portanto, historicamente determinados e culturalmente situados, sujeitos a vieses particulares. Portanto, há muito dispomos de um forte arsenal de críticas não só à imagem da Ciência (conhecida como *visão empírico-indutivista*), como também a uma educação científica que pretende refleti-la e ensina tão somente os produtos da ciência como fatos acabados e a-históricos, transmitidos de forma dogmática e acrítica. O reconhecimento da dependência histórica, social e cultural das ciências é um marco na história do pensamento. E enriquece a perspectiva de que não devemos nos furtar em reconhecer a complexidade e conectividade das ciências com as mais variadas manifestações da experiência humana, coletiva e individual.

O panorama acima parece convergir para uma crítica clara. Qual seja: tomar o todo da Ciência por partes dissociadas de *conteúdo* e um único (suposto) *método científico* e, por conseguinte, trabalhar apenas com a memorização dos conceitos e o emprego “correto” das técnicas, exclui um universo de saberes sobre os acontecimentos sócio-históricos fundantes e estruturantes do conhecimento. Para uma compreensão mais abrangente de Ciência, deve-se, inevitavelmente, apresentar os *produtos* atrelados ao seu *processo* de produção. Posto isso, são variadas as estratégias possíveis para humanizar, contextualizar e complexificar a abordagem da Ciência, ligando-a a outras esferas do saber. Nesse artigo, mobilizaremos algumas das noções reunidas em Alfabetização Científica e Natureza das Ciências para articular pontos que acreditamos frutíferos para o Ensino de Ciências.

História e Filosofia das Ciências (HFC) e Natureza das Ciências (NdC) para a Alfabetização Científica (AC)

Junto ao debate sobre Ensino de Ciências e à elaboração de currículos condizentes com os desenvolvimentos no campo, é imprescindível discutir os indicadores de aprendizagem, ou seja, de uma alfabetização científica de qualidade. Em ampla revisão bibliográfica, Sasseron e Carvalho (2011) buscam identificar pontos de aproximação e de consenso entre estudiosos da Alfabetização Científica (AC) quanto à definição do termo e às habilidades requeridas por um indivíduo alfabetizado cientificamente. Mantendo em vista as especificidades de cada nível de



ensino e as diferentes abordagens temáticas e didáticas, a AC prevê que existam conhecimentos gerais (“cultura científica”) necessários à vida dos cidadãos, sejam eles futuros cientistas, professores de ciências ou leigos. Evidentemente, a alfabetização, em primeira análise, envolve a capacidade de leitura e compreensão dos conceitos científicos básicos e o uso adequado da linguagem científica, respeitando a estrutura teórica das diferentes ciências. Além disso, as autoras identificam que no cerne da AC objetiva-se a “formação cidadã dos estudantes para o domínio e uso dos conhecimentos científicos e seus desdobramentos nas mais diferentes esferas de sua vida” (SASSERON; CARVALHO, 2011, p. 60). Indicam também que uma AC de qualidade estabelece que é necessário compreender as relações entre Ciência e Sociedade, normas e condutas éticas da comunidade científica, diferenças entre Ciência e Tecnologia e conhecimentos sobre a *natureza do fazer científico* (SASSERON; CARVALHO, 2011).

Não se trata, porém, de simplesmente adicionar ao conteúdo científico algumas curiosidades e anedotas históricas, justapondo Ciência e História sem uma trama que efetivamente teça a correlação entre as disciplinas – para o caso específico de uma estratégia de ensino via HFC. Tampouco, de detalhar os meandros das interações internas e externas das ciências, sob risco de não se ensinar os conteúdos e pecar pelo excesso, de uma forma ou de outra. O que se sugere é que as estratégias didáticas adotadas pelos professores *contextualizem* as teorias científicas, tendo como objetivo discutir, de modo mais bem informado, as condições de produção daquele conhecimento, cobrindo um espectro mais amplo de debates sobre as ciências. Para tal, consideramos que há um mínimo necessário, porém não suficiente, de aspectos a serem considerados, além do conteúdo *per se*. A saber: formas de interação ciência-sociedade, o *ethos* da comunidade científica e a natureza das ciências e das tecnologias (PÉREZ et al., 2001; LEDERMAN et al., 2002; PRAIA; GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007; SASSERON; CARVALHO, 2011). Chamaremos tais características de *metacientíficas* e, para explicitá-las, nos apoiaremos nos estudos em Natureza das Ciências (NdC). Podemos dizer que essa área nasceu dos esforços em captar o que teria maior valor educacional nas respostas à questão “o que é Ciência?”, a fim de resolver concepções equivocadas sobre ela (PÉREZ et al., 2001; ADURÍZ-BRAVO, 2014; MOURA, 2014; CLOUGH, 2017). Do ponto de vista filosófico, acreditamos que não seria interessante produzir consenso definitivo sobre uma questão aberta como essa. Mas, para fins de educação escolar e formação de professores, é necessário que

docentes do ensino Básico, principalmente, sejam capazes de oferecer algumas respostas sobre do que se trata, afinal, esse corpo de conhecimento secular (EL-HANI, 2006; TEIXEIRA et al., 2009).

Se já não é suficiente conhecer a ciência a partir apenas de seus produtos, como caracterizar, então, o processo de produção das ciências? Partimos dos pressupostos de que a Ciência é uma *atividade coletiva e histórica*. Isto é, é produzida por uma comunidade com condutas e normas particulares, sempre em influência mútua com os demais segmentos – político, econômico e cultural. Essas relações, por sua vez, são dinâmicas e cambiantes e, por isso, alteram-se ao longo do tempo, fazendo com que a ciência exiba profunda historicidade. Há muitas aproximações entre o estudo da história e filosofia das ciências e a caracterização de uma possível *natureza das ciências*. Dado que os estudos historiográficos das ciências somam conhecimentos sobre a atividade científica ao longo dos anos, é possível depreender daí alguns dos fatores internos e externos que influenciam a comunidade na produção dos conhecimentos que vão (ou não) ser incorporados como legitimamente científicos (MOURA, 2014, p. 33). Portanto, é pertinente que existam formas de se sistematizar e comunicar fatores metacientíficos para resolver concepções equivocadas dos educandos sobre as ciências. Há uma extensa literatura disponível sobre o assunto, tanto em artigos publicados no Brasil nas últimas três décadas, tal como reunido em Moura (2014), como também em teses e dissertações. Assim, podemos afirmar que a proximidade entre HFC e o estudo de natureza das ciências, no que tange ao Ensino, é estreita, cooperativa e profícua. A essa interseccionalidade, que discute as particularidades do conhecimento científico e fatores internos e externos responsáveis pela sua produção, convencionou-se chamar de “Natureza das Ciências” e utilizar a sigla NdC ou NOS (inglês). Na definição de William McComas: “Trata-se de um domínio híbrido que mistura aspectos de vários estudos sociais da ciência, que inclui a sociologia, filosofia e história da ciência, que ainda se combinam com pesquisa das ciências cognitivas, como a psicologia” (MCCOMAS, 2008 *apud* PEDUZZI; RAICIK, 2020, p. 20).

Nas reflexões produzidas em NdC, a vasta maioria dos autores e autoras reconhecem a inexistência de *uma* natureza das ciências, propositalmente evitando incorrer em equívoco do tipo já mencionado anteriormente, da suposta unicidade do método. Há que se perceber que, submetidas ao escrutínio, as diferentes ciências (físicas, da Terra, biológicas, químicas, sociais etc.) apresentarão peculiaridades



que as distinguem, e até mesmo dentro de uma mesma ciência, pois áreas de especialização podem adotar estratégias diferentes. Porém, tomando distanciamento e num grau de generalidade do que é *interessante ao ensino*, alguns teóricos alegam ser possível listar características importantes para conhecimento (LEDERMAN et. al., 2002). Usamos como categorias de análise para essa pesquisa o levantamento realizado por Marrín, Benarroch e Niaz (2013), que investigou trabalhos de cinco grupos de pesquisa em NdC, importantes e largamente referenciados, quanto à convergência de suas afirmações. Os autores avaliam os possíveis consensos entre as afirmações desses grupos e concluem que os aspectos mais consensuais são os relativos “ao cenário onde surgem e são gerenciados os conhecimentos científicos” e à “avaliação do conhecimento científico como produto”. Por outro lado, obtêm pouco consenso ou consensos parciais quanto à “fase privada ou de descobrimento”, ou seja, os mecanismos de interação da comunidade científica com o mundo físico e entre si, e a “interação entre a fase privada e pública” (*ibidem*, p. 11). A partir desse levantamento e das categorias por eles sistematizadas, comentaremos alguns aspectos de NdC que apresentam considerável grau de convergência entre os especialistas.

Uma importante constatação da relação ciência-sociedade é que a ciência foi e é produzida por diversas culturas ao redor do mundo ao longo da História. Apesar da aparência europeia veiculada – homens brancos geniais, muitas vezes aristocratas –, os povos árabes, egípcios, hindus, chineses e muitos outros contribuíram na construção do conhecimento que possuímos. Quando nos deparamos com o termo “Ciência” usualmente está omitido o adjetivo “ocidental”, de modo que o que tomamos por *ciência no geral* é, na verdade, um recorte de conhecimentos sistematizados e institucionalizados principalmente no norte global (ROSA, 2006). Também, é contingente à sua construção que esse conhecimento seja assim veiculado, pois faz parte de uma tradição do pensamento ocidental perseguir os ideais de neutralidade, universalidade, generalidade e totalidade, sobretudo após o impacto do Iluminismo na Europa. A produção de conhecimento mescla-se ao local e às pessoas envolvidas na sua produção, tese cada vez mais subentendida nas abordagens contemporâneas da Filosofia, Sociologia e Antropologia das Ciências. Vejam-se, por exemplo, as considerações de Donna Haraway (2009) (produzidas no norte global) sobre a imbricação do sujeito e seu objeto de estudo.

Ainda que caibam a urgência das críticas e a busca por rotas de fuga desse paradigma do pensamento ocidental, ele faz parte da história dos estudos acadê-

micos em todas as áreas do saber. Tampouco é de nosso interesse desimplicar nosso pensamento, que está fundado no terreno do Ensino de Ciências no Brasil, cujos objetivos curriculares determinam que os conteúdos científicos e metacientíficos são os contidos na ciência ocidental. Para essa pesquisa, tomamos como objeto de estudo a História e Filosofia da Física e a natureza das ciências naturais, pois ela se insere no contexto de aplicação para o Ensino de Física. Portanto, esse é o seu ponto de projeção e, também, de chegada. Alinhamo-nos a Peduzzi e Raicik (2020, p. 22) quando comentam que:

Se por um lado isto [estudo do conjunto de saberes relativos à ciência ocidental] não isenta da crítica o que estudos da literatura, por exemplo, têm designado como colonização do saber (Santos & Menezes, 2010), a hegemonia da visão eurocêntrica de ciência (e tudo o que ela traz consigo), de outro, mostra a consciência e a prioridade da escolha, sempre necessária e incompleta, na abordagem de temas complexos. De todo modo, conhecer para criticar fortalece a própria crítica.

A ciência como possibilidade de conhecimento sobre o mundo é multicultural (MARRÍN et al., 2013). Ao mesmo tempo e exatamente por tal efeito, pode se beneficiar das impressões culturais que incidem sobre ela, pois carrega em si características particulares ao território onde foi concebida. Ademais, ela não só faz parte do repertório cultural e simbólico, como também o produz. Os conhecimentos científicos são, em si, produtos culturais que compõem a *tradição* de diversas sociedades. Isso nos leva ao próximo ponto: o conhecimento científico não é neutro e, portanto, necessita que os cientistas tomem decisões fundadas em *aspectos morais e éticos* do uso de novas descobertas científicas e tecnológicas, avaliando possíveis conflitos de interesses. Esse é um tema aberto à discussão mais aprofundada, mas para fins educacionais básicos é suficiente dizer que se busca manter valores éticos e morais acordados pela comunidade científica na resolução de conflitos. A ciência se faz através da interação da comunidade científica com o mundo e entre si, de maneiras diferentes, mas igualmente relevantes e complexas. Assim, faz-se claro também como ideais como “objetividade” podem ser ambíguos quando decisões são tomadas em nível pessoal ou de pequenos grupos. É através da difusão de práticas, condutas e valores epistêmicos (como generalidade, mais simplicidade com maior abrangência) que a comunidade científica se reconhece, se comunica e se multiplica.

Seguindo esse raciocínio, uma característica marcante da metodologia científica é que experimentos devem ser elaborados de modo a serem passíveis de reprodução



em quaisquer laboratórios adequadamente equipados. Os resultados devem ser comunicáveis e compreensíveis para os especialistas, que podem reavaliá-los, reproduzir o experimento, comunicar seus resultados e assim por diante. Ainda assim, diferentes cientistas realizando o mesmo experimento podem interpretar os dados de forma diferente, a depender da formação prévia de base, preferências pessoais intersubjetivas e pontos de vista distintos. Dentro dos limites da ética científica, isso não constituiria uma atitude de má-fé, porque, na medida em que os cientistas são iniciados na tradição da comunidade científica, eles ganham conhecimento dos valores éticos e epistêmicos compartilhados, i.e., aderem a um “estilo de pensamento”, nos termos do epistemólogo polonês Ludwik Fleck (1896 – 1961) (DELIZOICOV, 2002; CONDÉ, 2018). Ainda assim, dentro dos coletivos científicos existem diferentes estilos de pensamento e sempre haverá uma parcela de idiossincrasias envolvidas com a atividade científica que são importantes ao conflito de teorias, para uma dialética e constante renovação do conhecimento. O físico Ludwig Boltzmann (1844 – 1906), por exemplo, durante toda sua vida acadêmica, defendeu a tese do *pluralismo teórico*. Um posicionamento a favor de uma pluralidade epistêmica, que daria os recursos necessários ao desenvolvimento (“progresso”) das ciências em direção a melhores representações e modelos do mundo físico, melhorando nossa compreensão sobre a Natureza (VIDEIRA, 2006). O pluralismo teórico, então, só seria possível a partir da aceitação de diferenças de interpretação e proposição de teorias dentro da comunidade científica, não recaindo em dogmatismos e na razão asséptica anteriormente mencionada que tenciona eliminar divergências.

Ainda, é importante reforçar que nem os experimentos conseguem ser elaborados sem nenhuma prévia teórica (hipóteses, por exemplo), nem os dados empíricos são interpretados sem o aporte das teorias científicas e de uma epistemologia (declarada ou não). Há longas discussões de diversos filósofos das ciências e mesmo de cientistas sobre a *inseparabilidade teoria-observação*, que consta na História das Ciências como advento fundador da ciência moderna no século XVII, com a “Revolução Científica”. A *síntese* entre teoria e prática, pode-se dizer, foi iniciada pelo método implementado por Galileu e magistralmente realizada por Isaac Newton, resultando na unificação dos movimentos da Terra e dos céus (PRIGOGINE; STENGERS, 1984; ROSA, 2006). O ser humano começa a inquirir a Natureza, fazer-lhe *perguntas* e realizar *medidas*. A Natureza, por sua vez, haverá sempre de responder às perguntas na mesma linguagem em que elas foram formuladas – por isso a importância da epistemologia.

Essa discussão acerca do nosso diálogo com a Natureza, da relação teoria-observação, de qual dinâmica existe entre esses dois pilares da interação humana com o mundo físico pode ser encaixado na categoria de Marrín et al. (2017) como “*a fase privada ou de descobrimento*”, que, como vimos, oferece pouco consenso entre os especialistas de NdC. No campo de produção da História e Filosofia das Ciências e dos Estudos Sociais das Ciências, há ainda menos consenso. Há grande variedade de interpretações, complementares, contingentes, divergentes e um mosaico de teorias do conhecimento com diferentes recortes e ferramentas de análise. Portanto, para uma questão como essa, valemo-nos do princípio do pluralismo teórico de Boltzmann.

Em suma, frisamos que as afirmações sobre natureza das ciências, mais ou menos consensuadas, devem nortear os processos pedagógicos para alfabetização científica. Em sala de aula, podem ser abordadas como *temas e questões* geradoras de debates, de modo que possibilitem diagnosticar as visões “distorcidas” dos alunos, ao mesmo tempo em que se discutem possíveis ambiguidades na interpretação dos temas e questões (MARTINS, 2015). Assim, há incentivo a uma aprendizagem dedicada à construção de atitudes *investigativas* e *crítico-reflexivas*, que trabalhe a *metacognição* dos estudantes. Com efeito, Peduzzi e Raicik (2020, p. 21) alertam que “princípios descontextualizados e declarativos, de enunciados sucintos e passíveis de ambiguidade, presentes em listas que reúnem aspectos teoricamente consensuais sobre a natureza da ciência, com frequência são distorcidos e mal compreendidos”. Portanto, o ensino de natureza das ciências deve ser declaradamente *antidogmático* e *dialógico*, sob pena de incorrer em simplificações e visões igualmente distorcidas das ciências como um empreendimento duvidoso, sem escrúpulos e sem valor de verdade, como alegam as quimeras do movimento negacionista deste século.

Ainda, sobre a circulação dos saberes científicos entre diferentes coletivos da comunidade científica (fase privada) e desta com o setor público, Höttecke e Allchin (2020) oferecem material bastante recente sobre como o conhecimento científico é “consumido” pelos “cidadãos-consumidores” – isto é, a partir da mediação da mídia tradicional (televisão, jornais e revistas eletrônicas ou não) e das instituições científicas de fomento e/ou divulgação – os “*gatekeepers*”, guardiões (do conhecimento), em tradução livre. Também incluem os novíssimos desafios e deslocamentos provocados pela introdução da *internet* e as redes sociais como entidades personalizadas, autorreguladas e reguladoras da difusão de conhecimento. Por isso, eles avançam e advogam por uma NOSIS (Natureza das Ciências na Sociedade, em inglês), que



deve integrar os currículos de ciências e representar objetivos da alfabetização científica, provendo capacidade de acesso e análises de qualidade das informações científicas, auxiliando os cidadãos para a *tomada de decisões cientificamente informadas*. Assim, cidadãos e cidadãs poderiam empoderar-se e “participar no discurso público e tomada de decisões ativas quando a ciência e políticas públicas se atravessam” (*ibidem*, tradução nossa, p. 643). Partilhamos dessa perspectiva: um dos principais objetivos da educação científica é conferir maior autonomia aos cidadãos para identificarem as fontes adequadas e filtrarem as informações no processo de tomada de decisões. Seja de interesses particulares (sobre a própria saúde, por exemplo), sociais ou ambientais, deve-se compreender que as ciências oferecem bases seguras, pois são fundamentadas em valores compartilhados e cujo mecanismo de *dependência epistêmica* cria uma rede de autorregulação e garantia de qualidade (HÖTTECKE; ALLCHIN, 2020).

Finalizamos essa seção recuperando as premissas de uma Alfabetização Científica de qualidade: objetivar, especialmente, uma formação para o desenvolvimento pessoal, promovendo inserção na cultura científica através de um conjunto mínimo de compreensão dos produtos e dos processos. Parece haver um consenso, na bibliografia aqui citada, ao redor da *tomada de decisões* como ponto de chegada da alfabetização científica. Por isso, em linhas gerais, a AC deve assegurar o direito de todas as pessoas de conhecer e compreender, de letrar-se no conjunto de saberes tecno-científicos construídos histórica e coletivamente a partir de contribuições de todo o mundo, que se cruzam na produção de um conhecimento que se pretende universalmente comunicável. Na seção a seguir, apresentaremos alguns aspectos da Termodinâmica, a fim de exemplificar a visão de natureza das ciências expressa nesse artigo e seu potencial educacional. Intentamos também, ao trazer parte do conteúdo da teoria em clara articulação com uma epistemologia, iniciar o traçado de algumas rotas rumo a um pensamento que contemple o paradigma da complexidade.

Incerteza como paradigma: a Termodinâmica na virada do século XX

Na História da Física, as décadas iniciais do século XX destacam-se como a época da crise do pensamento científico, seguida de profundas reformulações e de uma revolução conceitual. O Círculo de Viena, já mencionado, foi um movimento que

teve um papel fundamental na dinâmica dos que tentavam apresentar soluções aos novos problemas que emergiam nas ciências. Problemas que envolviam perguntas sobre quais seriam os objetos de estudo “legítimos” das ciências e a forma “correta” de abordá-los. O chamado positivismo lógico assume a primazia da observação: os dados empíricos deveriam ser formulados em linguagem objetiva e direta – ou seja, a *lógica*, cujas sentenças se valeriam da precisão matemática para atestar ou refutar as observações. Para tal, era necessário evitar os objetos metafísicos do pensamento, *entidades não-observáveis*, para garantir a *verificabilidade* das teorias. À época, havia uma querela entre físicos e filósofos (VIDEIRA, 2006), cujo detalhamento não cabe aqui. Por fim, o Círculo de Viena não emplacou seu estilo de pensamento, que se mostrou incompatível e, de certa forma, insuficiente na abordagem das questões nascentes da virada do século XX. Como exemplo, podemos evocar as famosas *duas nuvens* às quais se referiu William Thomsom (1824 – 1907) que obscureciam a luz das teorias científicas desenvolvidas ao longo do século XIX, a saber; 1) a teoria ondulatória da luz, sugerindo a existência indetectável do éter e 2) a teoria da equipartição de energia de Maxwell-Boltzmann, uma teoria *atomista* (SCHULZ, 2007). Essas duas grandes nuvens só foram satisfatoriamente dirimidas pelas teorias Relativística e Quântica, respectivamente, que, sabemos, forçaram rupturas com o paradigma vigente.

Compreendemos, portanto, que ambas as teorias – Mecânica Quântica e Mecânica Relativística – ocupam os cânones no estilo de pensamento contemporâneo das ciências físicas, evidenciando a superação dos limites do paradigma newtoniano, tanto para as entidades microscópicas quanto para distâncias e massas astronômicas. Antes de prosseguir, cabe expor rapidamente algumas qualidades do paradigma newtoniano importantes para compreender a oposição em que se colocam as teorias científicas do século XIX e XX, orientadas pelo aparecimento da *incerteza* no mundo físico. Simplificadamente, o paradigma newtoniano é o conjunto de práticas, estratégias e visões de mundo ancoradas na mecânica clássica, cuja abordagem dos problemas compreende os fenômenos a partir da ação à distância de forças sobre corpos maciços que, por sua vez, descrevem trajetórias em um plano cartesiano (PRIGOGINE; STENGERS, 1984; PRIGOGINE; FERREIRA, 1996). Nessa abordagem, conhecendo-se precisamente as condições iniciais seria possível determinar a trajetória futura de qualquer corpo material, num sistema de referência onde o tempo é absoluto e reversível. Por isso, também, costuma-se chamar



o paradigma newtoniano de *determinista*. A visão determinista sobre o mundo usa comumente analogias como mundo-máquina, o relógio e a Natureza como um *autômato* (PRIGOGINE; STENGERS, 1984). A *aprevisibilidade* aparece no paradigma newtoniano como característica muito marcante. Assim, é compreensível porque a Física Quântica, ao inserir o conceito de *incerteza* como elemento indelével da observação (vide o Princípio de Incerteza de Heisenberg), e a Física Relativística, ao questionar o estatuto absoluto do tempo, tecendo o espaço-tempo não-euclidiano e relativo ao observador, desferem golpes fatais à Física Newtoniana.

Nossa pesquisa, porém, volta a atenção a outro campo da Física, um pouco anterior e com uma história também muito rica: a Termodinâmica Clássica. Ainda que profundamente inspirada pelo paradigma mecanicista, a Termodinâmica – cuja gênese encontra-se nas realizações tecnológicas da Revolução Industrial no século XVIII – desenvolveu-se de tal forma que criou condições favoráveis para o rompimento com a tradição da Física Newtoniana. Veem-se emergir na Termodinâmica conceitos inéditos e impensáveis pelo paradigma mecanicista determinista, como *entropia* e *irreversibilidade*. Devido a sua abordagem fenomenológica, i.e., de observação e descrição dos fenômenos sem necessariamente explicar sua natureza, a Termodinâmica Clássica passou incólume pelas revoluções científicas que mudaram profundamente as concepções da natureza da matéria. Albert Einstein (1879 – 1955) chegou a declarar: “*It is the only physical theory of universal content concerning which I am convinced that, within the framework of applicability of its basic concepts, it will never be overthrown*”¹⁷. (EINSTEIN, 1949 *apud* KLEIN, 1967)

Ilya Prigogine, nascido russo em 1917 e naturalizado belga, foi um cientista e difusor de uma filosofia da ciência a partir da Termodinâmica que lhe rendeu a alcunha de “poeta da Termodinâmica”. Ganhou o Prêmio Nobel de Química de 1977 por suas contribuições para a termodinâmica do não-equilíbrio, particularmente a teoria de estruturas dissipativas. Prigogine argumenta, em um capítulo do seu livro “O fim das certezas” (1996), como a Mecânica Quântica, apesar de sua imagem popular disruptiva, mantém alguns dos fundamentos do paradigma newtoniano. É de conhecimento de qualquer estudante de física de nível superior que, após a observação de um sistema quântico (até então, em estado indeterminado de superposição), é possível escrever uma equação determinística de sua evolução temporal. Não obstante, o *tempo* na teoria quântica, assim como na mecânica clássica, também ocupa meramente a posição de parâmetro, uma abstração matemática. A

Termodinâmica é fundamentalmente orientada pelos conceitos de *incerteza*, por vezes, da *imprevisibilidade* e do tempo que nos atravessa, irreversivelmente, como uma “flecha do tempo”, termo cunhado pelo físico Arthur Eddington (1882 – 1944) (PRIGOGINE; STENGERS, 1984; PRIGOGINE; FERREIRA, 1996). Tais expressões do mundo físico jamais haviam sido captadas em nenhuma outra teoria científica até então. E, ainda assim, a Termodinâmica não goza, como área da Física, da mesma popularidade das teorias quântica e relativística, ainda que nos ofereça debates frutíferos e desconcertantes sobre a natureza da matéria e os fenômenos do mundo físico.

Muito se argumenta sobre a importância de trazer temas de Física Moderna às escolas, como forma de atualizar os currículos da educação científica e tratar dos temas contemporâneos imbricados em nossa experiência cotidiana (MOREIRA, 2000). Sabemos, porém, que ainda há entraves na implantação de novidades nos currículos, em que a inserção ou retirada de temas é, no mínimo, burocrática, pois necessita de reelaboração por uma cadeia de instituições envolvidas com a Escola, e, no limite, política, já que envolve disputas de poder entre campos disciplinares. Não queremos diminuir a necessidade de renovação dos currículos, pelo contrário, buscamos rotas alternativas para facilitar o acesso a temas que possam suscitar debates sobre as conquistas mais recentes da Física, bem como sobre a natureza das ciências. Por isso, sugerimos a Termodinâmica, um campo da físico-química que já integra os currículos escolares brasileiros e que tem capacidade de construir relações inter- e transdisciplinares por seu caráter de fronteira e seu rico contexto histórico-social de formação.

No século XVIII, ao longo da Revolução Industrial, as tecnologias de geração de energia tiveram um crescimento e profusão acelerados, em função da demanda mercantil dos países europeus. Um exemplo muito conhecido são as máquinas a vapor que geraram trabalho mecânico para colocar locomotivas e outros eixos rotativos em movimento. Não obstante, esse aperfeiçoamento para realizar movimento giratório foi numa etapa posterior a sua concepção, pois a máquina era inicialmente voltada à função de bombear água para fora das jazidas de carvão mineral que, dada a exploração predatória das fontes vegetais e minerais de energia, criou a necessidade de buscar combustíveis em cavas cada vez mais profundas, que acabavam inundadas pelo lençol freático (PÁDUA et al., 2008). É sabido e largamente referido na história da Termodinâmica que a *tecnologia* das máquinas térmicas foi desenvolvida antes



mesmo de uma *teoria* das mesmas, isto é, da matematização, fundamentação teórica e elaboração das leis acerca dos processos físicos envolvidos na transformação de calor em trabalho mecânico (PÁDUA et al., 2008). Esse fato histórico é de grande valia para exemplificar como as ciências também se desenvolvem na direção oposta da que se pensa usualmente, qual seja, partindo da “descoberta” de um fato científico, seguida da ampliação e refinamento da teoria e, posteriormente, aplicação direta na construção de objetos tecnológicos. As máquinas térmicas eram aparatos tecnológicos relativamente comuns que permitiram a expansão da Revolução Industrial. No entanto, o interesse pelo seu funcionamento permaneceu por muito tempo restrito aos seus aspectos técnicos, estudado por engenheiros para fins de aperfeiçoamento das máquinas e melhor desempenho.

Como dito anteriormente, buscamos uma educação científica que possa abordar os problemas contemporâneos em sua interdependência com outras esferas do saber, que na escola estão disciplinarizadas como filosofia, sociologia, geografia, química, biologia, história etc. Os objetivos do ensino de ciências devem contemplar que os estudantes disponham de (um mínimo de) conhecimento científico para participar dos debates públicos, da construção da sua própria história e a de sua comunidade. Conforme Höttecke e Allchin (2020), o caso da mudança climática e sua relação com a extração de combustíveis fósseis é um debate que mobiliza um conjunto bem amplo de atores sociais e políticos, cuja relevância é de interesse global e tem força para determinar o futuro de países e da Terra como um todo. Sugerimos que um dos conhecimentos científicos básicos que poderiam auxiliar na compreensão geral e, esperamos, gerar mais engajamento nesse debate, são conceitos e relações básicas da Termodinâmica: as transformações de calor em trabalho e a produção de entropia. Numa situação de ensino, portanto, teríamos espaço não só para discutir a emergência climática, como poderíamos tecer, junto a esse problema, o conteúdo científico da segunda lei da termodinâmica.

O desenvolvimento da teoria Termodinâmica, que crescia em atenção ao longo do século XIX com trabalhos de grande impacto como os de Sadi Carnot (1796 – 1832), sobre a potência motriz do fogo, e James Joule (1818 – 1889), com a equivalência entre trabalho e calor, por exemplo, estabeleceu novos fundamentos para o pensamento sobre a natureza e demonstrou a impossibilidade de certos processos, colocando limites e novas fronteiras para o conhecimento científico – como foi o caso das máquinas de *moto-perpétuo*. Poderíamos citar muitos estudiosos que contribuí-

ram fortemente para construção das bases para a Termodinâmica Clássica. Por ser uma “teoria de princípios”, como diria Einstein (KLEIN, 1967), suas leis podem ser elaboradas em variadas sentenças que identifiquem e descrevam o mesmo fenômeno observável. De acordo com Pádua (et. al., 2008), dentre os cientistas que foram decisivos na formulação da primeira lei da termodinâmica (conservação de energia), Rudolf Clausius (1822 – 1888) deu contribuição muito significativa. Em especial, porque rompeu com a teoria do calórico², teoria que ao longo dos séculos XVIII e XIX contava com vários adeptos tentando estabelecê-la na comunidade científica, mas que não respondia a questões que a proposição de Clausius pôde resolver melhor. Segundo Pádua (et. al., 2008, p. 77):

Clausius apresentou argumentos rejeitando a teoria do calórico em favor de um princípio que estabelecia a equivalência entre o trabalho e o calor. [...] A recusa foi baseada naquilo que se tornou a primeira lei da Termodinâmica: toda vez que trabalho é produzido por meio de calor, é consumida uma quantidade de calor equivalente à quantidade de trabalho produzida. Uma premissa que Clausius acreditava ter sido firmemente estabelecida por meio dos experimentos de Joule.

Katya Aurani (2018) apresenta um detalhamento do conceito inicial de entropia elaborado por Clausius. Clausius sabia, conforme Carnot, que “a produção de calor sozinha não é suficiente para dar origem à potência motriz do fogo; é necessário que haja o frio; sem isso o calor seria inútil” (CARNOT, 1824 *apud* AURANI, 2018). Por conta disso, Clausius chega à conclusão de que a única direção espontânea para a passagem do calor é de uma fonte quente para a fria, o que indica uma gênese das noções de irreversibilidade e direção preferencial dos processos espontâneos, formas alternativas de compreensão da segunda lei (AURANI, 2018). Então, explorando algebricamente a expressão do princípio de equivalência das transformações, Clausius concluiu que nos processos reversíveis as transformações compensam umas às outras (soma algébrica igual à zero), enquanto que em processos irreversíveis deveria haver uma soma positiva, “pois as transformações negativas não poderiam ocorrer sem compensação” (*ibidem*, grifo nosso, p. 158). Em seguida, explorando a conservação de energia para processos não-cíclicos, Clausius julgou necessário inserir o conceito de *desagregação*, relativo ao “arranjo dos constituintes das substâncias, e que cresce por efeito do calor, à medida que aumenta a dispersão no corpo” (*ibidem*, p. 159).

Com isso, gostaríamos de evidenciar que as noções de *equivalência*, *compensação* e *desagregação* são basilares na concepção da entropia e, no entanto, ainda

que permaneçam coerentes com a concepção moderna da termodinâmica, parecem ter sido totalmente abandonadas e ignoradas pelos manuais e, consequentemente, por professores e professoras. Por isso, insistimos na validade da ideia de que os processos de transformação energética não ocorrem sem uma compensação, qual seja, a passagem de calor para uma fonte fria e o aumento da entropia nos sistemas fechados (que, nos termos de Clausius, significa a desagregação, dispersão da energia aproveitável). Diante de temas pungentes como a mudança climática, largamente reconhecida pela comunidade acadêmica desde 1990 e que figura no último Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, em inglês) como consequência de ações antrópicas da queima de combustíveis fósseis desde a Revolução Industrial (IPCC, 2021), não podemos jamais imaginar que estamos em posição confortável para continuar retirando recursos da Natureza da mesma forma. Não estamos assistindo passiva e externamente aos fenômenos naturais se desenrolarem como em uma peça sobre um palco. A disjunção cartesiana entre o homem e a natureza, que informou o paradigma newtoniano, não existe. Ao contrário, estamos interligados e somos a manifestação da própria natureza se produzindo, energia e matéria se transformando e se dissipando. De modo geral, acreditamos que a compreensão desses princípios científicos básicos pode ser caminho para imaginarmos soluções mais criativas e integrativas para a questão energética, reconhecendo a impossibilidade de extrair energia do sistema Terra sem que haja uma via de compensação com a qual, cedo ou tarde, teremos que lidar.

Portanto, a *entropia* é o conceito representante da segunda lei da termodinâmica e é, por isso, o que faz a distinção entre os processos reversíveis (variação de entropia igual a zero) e os irreversíveis (variação de entropia diferente de zero). Parece-nos importante dizer também que, apesar de muitos associarem a entropia com a medida de “desordem” do sistema, essa é uma simplificação grosseira da potência criadora da entropia. Em um movimento dialético e recursivo fascinante, entropia e vida misturam-se: a entropia é responsável pelas flutuações estatísticas que originam estruturas complexas, altamente organizadas, das quais podem emergir funções biológicas e a vida. A vida, por sua vez, é um dos fenômenos naturais que tem capacidade de reduzir a entropia dos sistemas abertos. Mas esse é um assunto longo, a merecer dedicação especial. Para os fins deste trabalho, trazemos a citação a Murray Gell-Mann, feita por Prigogine, sobre a relação entre entropia e informação (ou a falta dela) para indicar que não se trata tão somente de desordem e dissipação:

A entropia e a informação estão estreitamente ligadas. Na realidade, a entropia pode ser considerada uma medida da ignorância. Quando sabemos apenas que um sistema está num dado macroestado, a entropia do macroestado mede o grau de ignorância acerca do microestado do sistema, contando o número de bits de informação adicional que seria necessário para especificá-lo, sendo todos os microestados [por exemplo, as diferentes configurações possíveis das partículas de um gás a determinada pressão p] no macroestado [i.e., a pressão p] considerados igualmente prováveis (GELL-MANN, 1994 *apud* PRIGOGINE; FERREIRA, 1996)

Intentamos evidenciar que a natureza é essencialmente probabilística, como nos avisa também a Mecânica Quântica. Incerta, não porque nos faltem parâmetros adequados para descrevê-la, mas porque a natureza é um mar de possibilidades flutuantes que transbordam dos estreitos canais das trajetórias determinísticas. A entropia é uma propriedade emergente de sistemas de muitos corpos cuja *interação persistente* cria correlações que não conseguem ser descritas pela mecânica newtoniana (*ibidem*). O paradigma da incerteza e tudo que ele supõe – a irreversibilidade do tempo, a dissipação de energia, a luta constante entre a ordem e o caos – nasceu, de fato, com a Termodinâmica. Há muito mais indeterminação na própria ontologia da matéria do que a certeza e previsibilidade que supunham a mecânica clássica.

Por fim, citamos Pádua et al. (2008) sobre a segunda lei da termodinâmica: *“De forma absolutamente sintética, podemos dizer que a segunda lei traz em si um Princípio de Evolução, que de certa forma traduz o caráter irreversível dos processos naturais. Estes fenômenos ‘seguem’ o sentido da ‘flecha do tempo’ como dizia Arthur Eddington”* (*ibidem*, p. 82). Retomando a ideia evolucionária para os sistemas termodinâmicos e demais sistemas de corpos interagentes, Ludwik Fleck, pesquisador de ciências médicas e filósofo da ciência polonês, compreende o desenvolvimento e evolução das ciências em analogia ao conceito biológico de evolução, devido à sua proximidade com as ciências da vida (DELIZOICOV, 2002; CONDÉ, 2018). Assim, a termodinâmica torna-se também uma teoria relevante e candidata a objeto epistemológico para a construção de uma teoria do conhecimento, pois segundo a epistemologia de Fleck, *“Os fatos científicos são condicionados e explicados sócio-historicamente. Interdependentes, formam um continuum em que as experiências do presente estão ligadas às do passado e estas se ligarão às do futuro”* (DELIZOICOV et al., 2002, p. 57). Em decorrência, reafirmamos que a ciência é *contingente*. Como poderia, então, a história das ciências ser diferente? A ciência conta a sua própria história. E o tempo não é, de forma nenhuma, uma invenção, uma abstração matemática,



uma ilusão. Se somos algo, o somos *por causa* do tempo, pois é exatamente o que permite a ordenação (e o decaimento) do mundo ao nosso redor. É o que permite o vir a ser do novo e a existência do velho. Como diria o filósofo Henri Bergson (1859 – 1941), grande inspiração para as elaborações tanto científicas quanto filosóficas de Prigogine: “o tempo é o que impede que tudo seja dado de uma só vez” (BERGSON, 1920 *apud* PRIGOGINE; FERREIRA, 1996, p. 21). A incerteza e indeterminação são o que nos dão algum sentido de liberdade para construir nosso próprio caminho, pois tudo permanece possível até que seja real.

Para encaminhar outras possibilidades desse diálogo, indicamos que produções em Termodinâmica e áreas afins, a partir dos anos 1950, contribuem imensamente para melhor entendimento do paradigma da incerteza, ou o paradigma complexo, como também é chamado. Citamos: sistemas complexos, transições de fase, sistemas abertos longe do equilíbrio, estruturas dissipativas, fractais, auto-organização etc. (PRIGOGINE; FERREIRA, 1996). Apesar de estar além do conteúdo escolar, a leitura de trabalhos como o de Ilya Prigogine, e suas colaborações com Isabelle Stengers, pode ser de grande aprendizado para professores em formação. A colaboração prolífica, didática e profundamente transdisciplinar entre Prigogine e Stengers – autora relevante no debate contemporâneo – oferecem reflexões ricas não só no campo especializado da físico-química, como também da história e filosofia das ciências, das interfaces da ciência com a sociedade e as perspectivas de futuro do desenvolvimento técnico e científico e seus efeitos no destino planetário.

O pensamento complexo e seus operadores

Durante a escrita desse artigo, Edgar Morin completou 100 anos de vida. Esse pensador que há um século experiencia e participa ativamente no fluxo de acontecimentos do mundo é um dos primeiros nomes que surgem em buscas sobre o *paradigma da complexidade*. Apesar de não reivindicar a sua invenção – que, em verdade, aparece em 1934 com o filósofo da ciência Gaston Bachelard na obra “O novo espírito científico” –, é considerado o “grande artesão” da complexidade (ALMEIDA et al., 1997). Dentre seus mais de 70 livros, destacam-se os seis volumes da obra “O método”, em que expõe suas ideias em atravessamento com as mais diversas áreas do conhecimento: educação, filosofia, sociologia, psicologia e áreas afins, as quais constituem uma matriz transdisciplinar que caracteriza seu pensamento. O nome

da obra não foi escolhido levianamente, Morin é consciente das controvérsias ao redor da busca de um método receituário para alcançar respostas definitivas. Ao invés disso, faz a distinção entre método e metodologia:

Frequentemente, esse termo [método] é confundido com metodologia, o que enrijece seu caráter programador; método aqui é entendido como uma disciplina do pensamento, algo que deve ajudar qualquer um a elaborar sua estratégia cognitiva, situando e contextualizando suas informações, conhecimentos e decisões, tornando-o apto para enfrentar o desafio onipresente da complexidade (MORIN, 2003, p. 12).

Edgar Morin mantém a precisão quando evoca a ubiquidade da complexidade. Chama atenção para que a palavra “complexo” não seja utilizada como um termo “tapa buracos”, para não encerrar sob essa alcunha uma miríade crescente de problemas. Ao reconhecer a natureza complexa dos problemas do século – as “*emergências planetárias*” (Bybee *apud* PRAIA, GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007, p. 145) –, devemos enfrentar o debate, adentrar a complexidade e buscar compreender seus mecanismos (ALMEIDA, 1997; MORIN, 2000; 2003). Afinal, o mundo (físico e não-físico) desenrola-se de forma irreversível e quase sempre incerta. Isso, no entanto, não deve gerar pânico ou medo, a ponto de ser imobilizante ou fazer desviar o olhar. Deve sim, ser premissa para “ficar com o problema”, como nos indica Haraway no título do seu livro publicado em 2016, “*Staying with the trouble*”. Para tal, é preciso ferramentas, *operadores cognitivos*, que permitam entrar na densa atmosfera dos fenômenos complexos. Em livros mais recentes, Morin condensou suas ideias em temas que considera mais urgentes: “Educar na Era Planetária” (2003) e “Sete Saberes Necessários para a Educação do Futuro” (2000). Neles, reapresenta e reelabora seu método como estratégia de ação aberta, capaz de responder às intempéries de *navegar em um mar de incertezas, cercado por um arquipélago de certezas*, analogia a que recorre com frequência para comunicar sua filosofia.

Passamos à apresentação de alguns dos operadores morinianos que, não surpreendentemente, auxiliam a compreensão da sua própria filosofia, já concebidos em um movimento circular e dinâmico de observar e descrever a si mesmo:

O primeiro deles é a noção de sistema. Um sistema é o conjunto de partes diferentes, unidas e organizadas. Assim, por exemplo, a sociologia define a sociedade como um sistema [...] não podemos conhecer a sociedade a partir de indivíduos e grupos tomados isoladamente. É preciso juntar as partes ao todo, e o todo às partes (ALMEIDA et al., 1997, p. 17).

A noção de sistema não é cara somente a Morin, mas também às ciências no geral e, em particular, às ciências físicas. Apesar da citação colocá-la como um operador, pode-se referir à noção de sistema como algo similar a uma “lei zero” para compreender os demais operadores. Fica clara aqui a relevância que o ensino de ciências naturais (através da Termodinâmica, por exemplo) adquire para o aprendizado de conceitos centrais e amplamente compartilhados por diversas áreas do saber. Temos também o princípio da *circularidade* ou *recursividade*, que supõe uma dinâmica de causa-efeito retroativa, “onde o próprio efeito volta à causa” (*ibidem*, p. 18) e que se *retroalimenta*, num tipo de *autopoiesis*, i.e., a realização de si mesmo. Desse modo, as invenções são, ao mesmo tempo, inventoras de si mesmas e de outras invenções, que mantêm o princípio de recursividade girando. Essa é uma das dimensões do que conferimos às ciências como o *caráter contingente do pensamento científico*: as invenções estão inscritas nas circunstâncias do momento de sua produção, sendo determinadas por elas, mas também permanecendo imprevisíveis até que tenham sido, de fato, concretizadas. Esse princípio oferece-nos a possibilidade de pensar uma causalidade que se contrapõe à causalidade linear, característica do paradigma newtoniano.

O *operador hologramático* usa o objeto holograma: uma imagem tridimensional na qual um ponto contém informação referente à totalidade da imagem. Morin exemplifica muito bem esse operador recorrendo à função das células nos organismos vivos. Em uma célula, que se pode chamar de unidade constituinte de seres vivos, encontramos material genético que carrega informação sobre a totalidade daquele ser. Ao menos, informação suficiente para garantir a reprodução de si mesmo (auto-produção). O operador hologramático “diferencia-se da visão holística, uma vez que, para Morin, o todo é, por vezes, maior ou menos do que a soma das partes” (ALMEIDA et al., 1997, p. 33). Estendendo esse operador ao nível social, Morin argumenta que cada indivíduo (uma parte da sociedade) também carrega em si um pouco do “todo” ao ser portador de *cultura* – “as proibições, as normas, a linguagem e, finalmente, a presença da sociedade em nós” (*ibidem*, p. 19). Novamente, podemos aplicar essa noção a uma sociedade em particular, a sociedade científica, na qual cada cientista carrega em si as tradições que caracterizam a sua comunidade.

Por fim, temos o operador *dialógico*, que significa que para compreender alguns fenômenos complexos é necessário juntar duas noções que são, a princípio, *antagônicas* e, ao mesmo tempo, *complementares*. Ressaltamos a potência desse operador para o

ensino de ciências, visto que os temas metacientíficos ainda estão (e provavelmente permanecerão) sujeitos a ambiguidades e discordâncias entre os teóricos. O modo como os conhecimentos científicos e as ciências como atividade humana são compreendidos atualmente pelos especialistas variam e chocam-se em muitas direções. Pode parecer paradoxal e inconcebível que um paradigma construtivista, por exemplo, possa coexistir com os vários tipos de realismo científico, ambos oferecendo leituras coerentes e bem estruturadas sobre a construção do conhecimento científico. No entanto, “O princípio dialógico não opõe ordem e desordem, natureza e cultura, mas entende tais fenômenos como simultaneamente concorrentes, antagônicos e complementares, o que permite manter a dualidade no seio da unidade” (ALMEIDA et al., 1997, p. 33). Não obstante, Morin coloca-se explicitamente a favor de uma educação *transdisciplinar*, que se opõe à disjunção dos saberes promovida pela forte disciplinarização do conhecimento. Na tradição disciplinar da escola – bem como do pensamento científico em geral – tendemos a esquecer que os acontecimentos estão mesclados, imbricados com grande diversidade de análises possíveis. A separação em áreas do saber é artificial, feita geralmente para facilitar a abordagem do problema a partir de recortes específicos. Morin não recusa a importância das ferramentas cognitivas que “recortam” os problemas, apenas relembra a importância de se possuir também as ferramentas que permitam religar essas dimensões para a análise complexa (MORIN, 2000; 2003). Nesse contexto, cabe destacar que a transdisciplinaridade se vale da transferência de conceitos e, muitas vezes, da construção de analogias e metáforas, amplificando e multiplicando as possibilidades de significação de termos científicos.

Esperamos que nossa intenção tenha ficado clara: almejamos que o ensino de Termodinâmica possa ser um meio para a construção do pensamento complexo, uma nova ética do saber, útil à educação científica e à resolução de problemas da vida pessoal e social. Certamente, Edgar Morin tem seu pensamento influenciado pelo pensamento científico, dados alguns dos termos mobilizados por sua filosofia. Pensamos, por isso, que há espaço no ensino da Termodinâmica, tanto na educação básica como superior, para discussão de conceitos fundamentais tanto à compreensão da teoria, como à articulação com os operadores complexos e suas possíveis aplicações. Haveríamos de dispor de muitos mais parágrafos para entretecer os fios do pensamento moriniano com aqueles das demandas da educação científica. No entanto, esperamos ter indicado alguns entrelaçamentos contidos na filosofia da complexidade e na proposta de ensino e aprendizagem das ciências.



Conclusão

O mais recente relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), de agosto de 2021, afirma que é inequívoca a participação humana nas alterações climáticas dos últimos 2000 anos e que quase a totalidade das emissões de gases do efeito estufa é de responsabilidade dos humanos. Os diagnósticos indicam que já nos encontramos em um “ponto de não retorno”, uma situação *irreversível* (IPCC, 2021). Por isso, a mudança climática é uma das emergências planetárias que merecem atenção e reconhecimento da população para que haja participação de todos os setores nesse debate de interesse global. Diante dessa crise ambiental e humanitária, buscamos inspiração no paradigma da incerteza e no pensamento complexo para compreender nossa posição como indivíduos na sociedade planetária. Usando a potência da metáfora, afirmamos: nós somos como partículas errantes no mundo. Mas aprendemos com a visão fenomenológica da Termodinâmica que um grande conjunto de partículas, mesmo que microscopicamente desordenadas e caóticas, apresentam características emergentes ordenadas. Por ora, podemos apenas imaginar o tipo de ordenamento espontâneo que poderia emergir de uma sociedade altamente entrópica como a nossa, cujas conexões são fortemente intrincadas, persistentes e de intenso fluxo de informação. A partir do que Ilya Prigogine informa sobre os sistemas abertos longe do equilíbrio, em que a matéria começa a *ver a si mesma*, transformando-se em complexos arranjos espaciais (PRIGOGINE; FERREIRA, 1996, p. 71), nos inspiramos na possibilidade de que uma sociedade mais consciente de si construa um vir-a-ser muito diferente do atual, jamais imaginado.

Localizamo-nos historicamente no campo de Ensino de Ciências quanto ao caminho já percorrido para que as soluções propostas para tais questões e urgências contemporâneas não incorram em problemas antigos, até superados. Assim, defendemos o ensino do conhecimento científico via História e Filosofia das Ciências, a partir de temas mobilizados pela Natureza das Ciências, bem como outras abordagens contextuais que destacam a natureza de conhecimento científico. Elucidar, a partir da abordagem explícita de elementos metacientíficos do saber, que o sistema de dependência epistêmica da comunidade acadêmica e seu compromisso para com a sociedade no geral é o que garante qualidade e um saber confiável, oferecendo uma cultura científica útil a todos e todas. É exatamente porque existem

as incertezas, flutuações e mudanças na história do pensamento, que os diferentes métodos adotados pelos cientistas podem, por vezes, convergir em uma compreensão compartilhada e confiável do mundo. Almejamos, em futuros trabalhos, aproximar mais profundamente conceitos tanto da físico-química desenvolvida por Ilya Prigogine quanto dos escritos de Edgar Morin. Finalizamos com Morin, que sintetiza maravilhosamente nosso pensamento: *“o único conhecimento válido é aquele que se nutre de incerteza e que o único pensamento que vive é aquele que se mantém na temperatura de sua própria destruição”* (MORIN et al., 2003, p. 31).

Teaching History and Philosophy of Thermodynamics as means for complex thinking

Abstract

This paper presents elements for teaching school grade Thermodynamics and its related Teacher Training programs, prioritizing transdisciplinarity and other debates regarding attitudes towards contemporary pressing issues such as climate change. We take as starting points some discussions around Scientific Literacy (SL) and Nature of Science (NOS) – a field that emerges in the intersection between History and Philosophy of Science (HPS) and Science Teaching (ST). The present research makes a case towards the rupture of old and frail paradigms which still permeate and silently conduce our worldview. We argue that the insistence on such paradigms frequently denies the benefits of a more critical, integrative, and scientific attitude, informed on the world's meanders and complexities of human action. Our preference for the NOS approach is justified by its focus on pedagogical actions aligned with science's contemporary philosophical and historiographical conceptions. Our research is based on Ludwik Fleck's epistemological contributions, drawing possible relations between Thermodynamic theories and Edgar Morin's complex thinking. Such approximations may be resourceful to the objectives of SL: preparing citizens for informed and socially referenced decision-making around planetary crises that call for proactive stances.

Keywords: Science Teaching, Nature of Science, History of Thermodynamics, uncertainty, complexity.

Nota

- ¹ “É a única teoria física relativa a um conteúdo universal a qual eu estou convencido que, dentro dos limites de aplicação dos seus conceitos básicos, nunca será derrubada”.
- ² A teoria do calórico é uma teoria material sobre a natureza do calor. Originou-se no século XVIII nas interfaces entre o que viriam a ser consideradas a Física e a Química Modernas e tratava o calórico como um fluido imponderável presente em toda a matéria, que supunha-se estar relacionado e entremeado à estrutura molecular. Na teoria do calórico, o calor era tratado ao mesmo tempo como uma *função de estado* e uma *quantidade conservada* nos processos de transformação de energia (PÁDUA et. al., 2008).



À semelhança da lei de conservação de energia, que estava sendo elaborada ao mesmo tempo que a do calórico, o calor total do universo seria conservado. Uma das dificuldades para a aceitação da teoria do calórico, foi a impossibilidade de explicar a produção de uma quantidade inesgotável do calórico a partir do atrito (entre as mãos, por exemplo), fenômeno que violaria a lei de conservação.

Referências

- ALMEIDA, Maria da Conceição X; CARVALHO, Edgar A; CASTRO, Gustavo. **Ensaio de Complexidade**, Porto Alegre: Sulina, 1997.
- ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. Teaching the nature of science with scientific narratives. **Interchange**, v. 45, n. 3-4, p. 167-184, 2014.
- AURANI, Katya M. As ideias iniciais de Clausius sobre entropia e suas possíveis contribuições à formação de professores. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 11, n. 1, p. 155-63, 2018.
- CLOUGH, Michael. P. History and nature of science in science education. In: **Science Education**. Sense Publishers, Rotterdam, 2017. p. 39-51.
- CONDÉ, Mauro Lúcio L. Mutações no estilo de pensamento: Ludwik Fleck e o modelo biológico na historiografia da ciência. **Revista de Filosofia Moderna e Contemporânea**, v. 6, n. 1, p. 155-186, 2018.
- DELIZOICOV, Demétrio et al. Sociogênese do conhecimento e pesquisa em ensino: contribuições a partir do referencial fleckiano. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, p. 52-69, 2002.
- EL-HANI, Charbel N. Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior. **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, p. 3-21, 2006.
- HARAWAY, Donna. Saberes localizados: a questão da ciência para o feminismo e o privilégio da perspectiva parcial. **Cadernos Pagu**, n. 5, p. 7-41, 2009.
- HODSON, Derek. Philosophy of science, science, and science education. **Studies in Science Education**, University of Leeds, v. 12, p. 25-57, 1985.
- HÖTTECKE, Dietmar; ALLCHIN, Douglas. Reconceptualizing nature of science education in the age of social media. **Science Education**, v. 104, n. 4, p. 641-666, 2020.
- IPCC, Summary for Policymakers. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**, Cambridge University Press, 2021.
- JAPIASSÚ, Hilton; MARCONDES, Daniel. Dicionário Básico de Filosofia. **Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor Ltda**, 2008.
- KLEIN, Martin J. Thermodynamics in Einstein's thought. **Science**, v. 157, n. 3788, p. 509-516, 1967.
- LEDERMAN, Norman G. et al. Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. **Journal of research in science teaching**, v. 39, n. 6, p. 497-521, 2002.
- MATTHEWS, Michael S. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.



- MARÍN, Nicolás et al. Revisión de consensos sobre naturaleza de la ciencia. 2013.
- MARTINS, André F. P. Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em “temas” e “questões”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 703-737, 2015.
- MOREIRA, Marco Antônio. Ensino de Física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1 (mar. 2000), p. 94-99, 2000.
- MORIN, Edgar. **A cabeça bem-feita**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, v. 99, 2000.
- MORIN, Edgar; CIURANA, Emilio R.; MOTTA, Raúl D. **Educar na era planetária: o Pensamento complexo como método de aprendizagem pelo erro e incerteza humana**. Cortez, Setembro, 2003.
- MOURA, Breno Arsioli. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.
- PÁDUA, Antonio B. et al. Termodinâmica clássica ou termodinâmica do equilíbrio: aspectos conceituais básicos. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 29, n. 1, p. 57-84, 2008.
- PEDUZZI, Luiz O. Q.; RAICIK, Anabel C. Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 2, p. 19-55, 2020.
- PÉREZ, Daniel Gil et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 7, p. 125-153, 2001.
- PRAIA, João; GIL-PÉREZ, Daniel; VILCHES, Amparo. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Ciência & Educação**, v. 13, p. 141-156, 2007.
- PRIGOGINE, Ilya; STENGERS, Isabelle. **Order out of chaos: Man's new dialogue with nature**. Bantam Books, 1984.
- PRIGOGINE, Ilya; FERREIRA, R. L. **O fim das certezas**. Unesp, 1996.
- ROSA, Luiz P. **Tecnociências e humanidades: novos paradigmas, velhas questões, o determinismo newtoniano na visão de mundo moderna**. Editora Paz e Terra, 2006.
- SASSERON, Lúcia H; CARVALHO, Anna Maria P. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.
- SCHULZ, Peter A. Duas nuvens ainda fazem sombra na reputação de Lorde Kelvin. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, p. 509-512, 2007.
- TEIXEIRA, Elder S.; FREIRE JR, Olival; EL-HANI, Charbel Niño. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de física. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 3, p. 529-556, 2009.
- VIDEIRA, Antonio Augusto P. Boltzmann, física teórica e representação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, p. 269-280, 2006.



Foguetes, satélites artificiais e telescópios através da libras: uma abordagem histórica para o ensino-aprendizagem de astronomia na cultura surda

Ellen Cristine Prestes Vivian*, André Ary Leonel**

Resumo

Este trabalho tem o objetivo de evidenciar as contribuições de uma abordagem histórica sobre instrumentos astronômicos para o ensino-aprendizagem de Ciências para estudantes surdos(as), através de uma proposta com intervenções didático-pedagógicas bilíngues. Para isso, foram realizadas duas intervenções de ensino, extraclasse, sobre um tópico de Astronomia intitulado “Foguetes, satélites artificiais e telescópios: o que são, como funcionam e para que servem?”. Esse tópico faz parte de uma sequência didática construída e implementada durante uma pesquisa de mestrado desenvolvida pela professora-pesquisadora – que atuou como Física Educadora Bilíngue - com um grupo de quatro estudantes do Ensino Fundamental, todas meninas com idades entre 13 e 15 anos, sendo três surdas e uma ouvinte filha de pais surdos, em uma escola regular do interior do Rio Grande do Sul. O estudo teve o intuito de proporcionar às estudantes um entendimento sobre os instrumentos astronômicos – que foram construídos para melhorar a observação e o estudo do espaço pelo ser humano – através de uma perspectiva histórica sobre a importância, a origem e a utilização desses instrumentos nas Ciências, nas tecnologias, nas telecomunicações e na sociedade. As intervenções possibilitaram às estudantes a participação em um estudo histórico das Ciências, através da Astronomia, em um ambiente de Educação Bilíngue com uma Professora Bilíngue, que viabilizou e acessibilizou os conceitos científicos. Neste sentido, a relação entre a Educação Bilíngue e a Educação em Astronomia contribuiu potencialmente para a reconfiguração do ensino-aprendizagem científico de surdos, através da aproximação da Língua Brasileira de Sinais (Libras), da cultura surda e da cultura científica.

Palavras-chave: Educação em Astronomia. Educação Bilíngue. Libras. Cultura Surda.

* Doutoranda em Ensino de Física no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: ellencristinevivian@outlook.com. ORCID: 0000-0002-5181-507X

** Doutor em Educação Científica e Tecnológica. Docente do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina. E-mail: andre.leonel@ufsc.br. ORCID: 0000-0002-6875-8876

<https://doi.org/10.5335/rbecm.v4i3.12966>

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

ISSN: 2595-7376



Introdução

Para contextualizar, serão discutidos e apresentados ao longo deste trabalho alguns pressupostos teóricos, práticos, políticos e metodológicos que balizam a Educação em Astronomia - do contexto epistemológico, histórico, pedagógico e educacional - bem como sobre Libras, cultura surda e Educação Bilíngue para surdos.

No contexto educacional, a Educação em Astronomia compreende um conjunto de práticas pedagógicas e metodológicas direcionadas para a promoção do ensino-aprendizagem de conteúdos científicos que perpassam os estudos de Astronomia. Atualmente, existem políticas públicas que procuram assegurar a Educação em Astronomia na Educação Básica. Nesse sentido, nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) o ensino-aprendizagem de Astronomia é proposto desde os anos finais do Ensino Fundamental até o Ensino Médio, nas áreas das Ciências da Natureza (BRASIL, 1997; 1998a), bem como das Ciências Humanas – em Geografia (BRASIL, 1998b, 2000c) - e em Física (BRASIL, 2000a; 2000b). Já a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) dispõe sobre o ensino da Astronomia desde os anos iniciais do Ensino Fundamental, na unidade temática vida e evolução; nos anos finais do Ensino Fundamental, na unidade temática Terra e universo – na área de Ciências da Natureza – e em todo o Ensino Médio, na unidade temática vida, Terra e cosmos, na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (BRASIL, 2018).

No contexto da educação de surdos, a Educação em Astronomia favorece a percepção do estudante pelo campo visual, pois o céu é o seu laboratório natural, estando à disposição de todos (LANGHI; NARDI, 2013; 2014). Igualmente, na cultura surda a visualidade é um instrumento de interação entre os sujeitos surdos e o mundo (SKLIAR, 1998; STROBEL, 2016); já na Astronomia, a visualidade é um instrumento de interação entre o estudante surdo, o universo e a linguagem científica (VIVIAN, 2018). Esta é uma forte relação entre a Astronomia e a cultura surda.

Nessa perspectiva, há importantes políticas públicas linguísticas e educacionais que amparam a educação de surdos, principalmente no que se refere à Educação Bilíngue. Com isso, é possível destacar o reconhecimento da Língua Brasileira de Sinais (Libras), no ano de 2002 - sob amparo da lei nº 10.436 (BRASIL, 2002) e sua regulamentação pelo decreto nº 5.626 (BRASIL, 2005). Mais tarde, no ano de 2010, foi regulamentada a profissão de Tradutor e Intérprete de Língua de Sinais (TIs), sob amparo da lei nº 12.319 (BRASIL, 2010). Outras políticas estão previstas



no Plano Nacional de Educação (PNE) de 2014 a 2024 (BRASIL, 2014), e na Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (LBI) - o Estatuto da Pessoa com Deficiência (BRASIL, 2015).

O PNE e a LBI reforçam o investimento na formação, promoção e oferta da Educação Bilíngue no ensino-aprendizagem de pessoas surdas¹, assegurando durante a alfabetização o ensino da Libras como primeira língua (L1) e o ensino da língua portuguesa escrita como segunda língua (L2), sem estabelecimento de terminalidade temporal (BRASIL, 2014, 2015).

Com isso, recentemente, foi incluída a Educação Bilíngue como modalidade de ensino na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) (BRASIL, 1996), através da Lei nº 14.191 de 2021 (BRASIL, 2021), assegurando a Educação Bilíngue para estudantes surdos em escolas bilíngues de surdos, classes bilíngues de surdos, escolas regulares² ou em polos de Educação Bilíngue de surdos, para educandos surdos, surdo-cegos, com deficiência auditiva sinalizantes, surdos com altas habilidades ou superdotação ou com outras deficiências associadas, optantes pela modalidade de Educação Bilíngue de surdos - desde a educação se estendendo ao longo da vida. Desse modo, os sistemas de ensino devem assegurar a esses estudantes materiais didáticos e professores bilíngues³ com formação e especialização adequadas, em nível superior (BRASIL, 2021).

A Educação Bilíngue é uma proposta que reconhece e respeita as especificidades linguísticas e culturais do surdo. A “cultura surda é o jeito de o sujeito surdo entender o mundo e de modificá-lo” (STROBEL, 2016, p. 29). Já a língua de sinais é um instrumento linguístico natural de comunicação, sendo a primeira língua do povo surdo (BRITO, 1993); é uma língua plena, devendo ser reconhecida como um direito dos surdos (SKLIAR, 1997, 1998). A cultura surda, a visualidade e, principalmente, a língua de sinais constituem-se como símbolos da surdez (BRITO, 1993).

No contexto deste breve panorama, considerando a importância da Educação em Astronomia e da Educação Bilíngue para surdos, este trabalho tem o objetivo de evidenciar as contribuições de uma abordagem histórica sobre instrumentos astronômicos para o ensino-aprendizagem de Ciências para estudantes surdos(as), através de uma proposta e intervenções didático-pedagógicas bilíngues.

Para isso, é apresentado um breve relato sobre duas intervenções de ensino, extraclasse, de tópicos de Astronomia, que fazem parte de uma sequência didática construída e implementada durante a pesquisa de mestrado, durante o segundo

semestre de 2017, concluída em 2018 (VIVIAN, 2018). A pesquisa foi desenvolvida pela professora-pesquisadora – que atuou como Física Educadora Bilíngue - com um grupo de quatro estudantes do Ensino Fundamental, todas meninas com idades entre 13 e 15 anos, sendo três surdas e uma ouvinte filha de pais surdos, em uma escola regular do interior do Rio Grande do Sul.

Libras, cultura surda e educação bilíngue para surdos

Inicialmente, é preciso entender a surdez como uma questão de diferença, marcada pela língua de sinais, pelo pertencimento da cultura surda e pelas experiências visuais (SKLIAR, 1998; STROBEL, 2016). A língua de sinais é uma língua visual-espacial, articulada através das mãos, das expressões faciais e corporais; também é composta de elementos semânticos e gramaticais, constituindo a fala das pessoas surdas (QUADROS; PERLIN, 2007; QUADROS 2008). Nesse sentido, a Libras é um elemento próprio da cultura surda, utilizada pelas comunidades surdas⁴ brasileiras e o principal modo de comunicação dessas pessoas.

A língua de sinais também representa a principal característica sociolinguística da surdez, construída através das vivências dos sujeitos surdos e marcada pelas experiências visuais (STROBEL, 2016). Nesse sentido, “a surdez constitui uma diferença a ser politicamente reconhecida; a surdez é uma experiência visual; a surdez é uma identidade múltipla ou multifacetada e, finalmente, a surdez está localizada dentro do discurso sobre deficiência” (SKLIAR, 1998, p. 11). Além disso, a língua de sinais e a visualidade são aspectos da cultura surda que se diferenciam fundamentalmente das vivências culturais e sociais dos ouvintes.

No processo de ensino-aprendizagem, a Libras tem o potencial de desenvolver a linguagem e o pensamento do sujeito surdo, possibilitando a construção do conhecimento técnico científico (GOLDFELD, 1997). Assim, a Libras, a visualidade e a cultura surda devem ser privilegiadas na educação de surdos, pois constituem os principais instrumentos de comunicação dessas pessoas.

Com isso, é pensada a Educação Bilíngue para crianças surdas, pois o bilinguismo considera a cultura surda e a língua de sinais. Na Educação Bilíngue para surdos, a língua de sinais é a primeira língua, isto é, corresponde à língua materna dos sujeitos surdos, enquanto a língua oficial escrita do seu país corresponde a segunda língua de instrução (QUADROS, 2008); isso porque o povo surdo necessita de duas línguas



como meio de comunicação, sendo a língua de sinais para comunicar-se entre seus pares e a língua nacional para comunicar-se com os ouvintes (STROBEL, 2016).

Outro conceito importante que a Educação Bilíngue traz é de que os surdos formam uma comunidade, com cultura e língua próprias (GOLDFELD, 1997, QUADROS, 2006, 2008). Então, o bilinguismo pode proporcionar a acessibilidade linguística e cultural para as pessoas surdas.

Para Skliar (1997b), um dos principais pesquisadores do bilinguismo no Brasil, essa proposta nasce em oposição à concepção clínico-terapêutica da surdez e como um reconhecimento político da surdez como diferença. Na perspectiva bilíngue, a língua de sinais é considerada a primeira língua do surdo e a língua majoritária – na modalidade oral e/ou escrita – como segunda. Essa visão sobre a surdez e o surdo tem sido apoiada pela comunidade de surdos (QUADROS, 2006, p. 51).

A educação escolar bilíngue está alicerçada em fatores políticos, resultantes de lutas das comunidades surdas e dos movimentos surdos, na busca por direitos sociais e educacionais; além disso, as pesquisas desenvolvidas no campo da linguística e da educação legitimam a eficácia do bilinguismo na educação de surdos: *“a educação escolar bilíngue para surdos, considerando os seus atravessamentos discursivos – sobretudo de domínios linguísticos, educacionais e políticos – é considerada como um relevante cenário para o ensino aos surdos e instituída como uma “verdade” nas comunidades surdas”* (MÜLLER; KARNOPP, 2015, p. 2).

Assim, a Educação Bilíngue tem o propósito de vincular o trabalho educacional a uma preocupação com a experiência cultural do surdo (QUADROS, 2006); por isso, “pôr a língua de sinais ao alcance de todos os surdos deve ser o princípio de uma política linguística, a partir do qual pode se sustentar um projeto educacional mais amplo” (SKLIAR, 1998 p. 27).

Nesse caminho, considerando a Educação Bilíngue é que as propostas didáticas e pedagógicas para a educação em Ciências para as pessoas surdas devem ser estruturadas, através do conhecimento e imersão na Libras, na cultura surda e na visualidade. Além disso, *“o bilinguismo, sendo bem utilizado, somado a todas as estimulações que o surdo pode ter, oferece iguais condições de aprendizagem e desenvolvimento destes alunos em comparação aos alunos ouvintes”* (MENEZES; CARDOSO, 2011, p. 9). Então, é fundamental entender os modos surdos de ser, para se aproximar dos modos surdos de aprender.

Educação em astronomia e o contexto epistemológico, histórico e pedagógico: uma visão geral

A Astronomia é uma das áreas do conhecimento científico que perpassa o contexto histórico, epistemológico e pedagógico ou educacional, sendo este último o foco deste trabalho. Assim, serão apresentadas, brevemente, algumas reflexões que transitam por esses contextos e suas relações.

No contexto epistemológico, a Astronomia pode ser entendida como uma construção humana sujeita a conflitos históricos e principalmente conceituais. “A história da Astronomia também está contaminada com supostas verdades históricas da Ciência que são ensinadas em salas de aulas” (LANGHI; NARDI, 2009b, p. 3). Nessa perspectiva, é pertinente à Educação em Astronomia um diálogo entre o contexto epistemológico e o contexto pedagógico sobre os fatos científicos, “para que os contextos históricos a eles impostos como verdades intrínsecas não sejam simplesmente aceitas de um modo passivo” (LANGHI; NARDI, 2009b, p. 4). Na educação em Astronomia, isso é oportuno para que os estudantes reconheçam a Astronomia e a Ciência, em geral, como instrumentos contextuais do conhecimento humano.

No contexto histórico, a Astronomia teve papel fundamental em diferentes épocas na civilização humana, influenciando muitos fatores, dentre eles: fatores econômicos, com as navegações e a agricultura; fatores religiosos e supersticiosos, com a astrologia; e fatores científicos, com as observações espaciais, para saciar a curiosidade humana e para promover o desenvolvimento científico - através de modelos e de teorias (NEVES; ARGUELLO, 1986). Igualmente, os povos indígenas possuíam sua própria concepção sobre o universo e isso nos mostra que a Astronomia existia no Brasil antes mesmo da chegada do homem branco (LANGHI; NARDI, 2009b). Então, a Astronomia tem um caráter epistemológico e histórico, enquanto conhecimento culturalmente e socialmente construído. Ainda no contexto histórico, a educação em Astronomia esteve presente desde os povos indígenas brasileiros; pois os conhecimentos astronômicos eram ensinados de gerações em gerações dentro desses povos – mesmo considerando apenas a sua modalidade oral (LANGHI; NARDI, 2009b).

Quanto ao contexto pedagógico e educacional, no que se refere à importância e às justificativas para se promover a Educação em Astronomia, Soler e Leite (2012) identificaram, em sua pesquisa, que as principais narrativas apresentadas por pesquisadores da área envolvem quatro categorias, a saber: i - despertar sentimentos



e inquietações, como a curiosidade, o interesse e a fascinação pelas Ciências; ii - relevância sócio-histórico-cultural, devido à importância da Astronomia na evolução das tecnologias e das civilizações na organização do tempo, plantio e viagens; iii - ampliação de visão de mundo e conscientização, devido ao potencial da Educação em Astronomia na promoção da reflexão e de questionamentos; por fim, iv - a interdisciplinaridade, devido à flexibilidade da Astronomia em se articular com outras áreas do conhecimento. Entretanto, essas motivações provêm, provavelmente, das experiências dos próprios pesquisadores, enquanto professores ou divulgadores da Educação em Astronomia (SOLER; LEITE, 2012).

Júnior e Trevisan (2009), tendo como objetivo descrever o perfil da pesquisa em Educação em Astronomia no Brasil, a partir da análise dos periódicos de Ensino de Ciências, publicados nos últimos 20 anos, identificaram uma tendência da área em se preocupar com a alfabetização da sociedade com relação à Astronomia.

Em uma análise global, parece-nos que a mesma reconhece a fragilidade dos conceitos astronômicos que circulam entre professores e estudantes e produz trabalhos que, investidos de uma abordagem histórico-filosófica, permitem a disseminação dos conceitos astronômicos numa linguagem acessível buscando retomar, por meio da Astronomia, a curiosidade do homem sobre o conhecimento físico da natureza que o cerca (JÚNIOR; TREVISAN, 2009, p. 569)

Assim, a Astronomia é uma área das Ciências, entre outras, que tem o potencial de instigar nas pessoas o interesse, a curiosidade e a apreciação pela Ciência, conduzindo a uma aproximação com a cultura científica e com a Educação em Astronomia (LANGHI; NARDI, 2009a; 2009b; 2013; 2014). De modo geral, aprender Ciência envolve a apreciação de como esse conhecimento pode ser aplicado em questões sociais, tecnológicas e ambientais, bem como requer uma aproximação do indivíduo com os conceitos, convenções, leis, teorias, princípios e formas de trabalho da Ciência (MORTIMER; SCOTT, 2003). Nesse caminho, a Educação em Astronomia também é importante na produção do conhecimento científico, como uma construção humana, histórica, cultural e social (LANGHI; NARDI, 2013), para avanços científicos, tecnológicos e educacionais.

Entretanto, mesmo considerando todas as potencialidades que a Educação em Astronomia pode proporcionar, na Educação Básica, o ensino-aprendizagem de conteúdos da área é infrequente e, muitas vezes, inexistente (LANGHI; NARDI, 2009a); mesmo havendo os incentivos das pesquisas e das políticas educacionais

que amparam a Educação em Astronomia na Educação Básica (LANGHI; NARDI, 2009a; 2014), como o PCN (BRASIL, 1997; 1998a, 1998b; 2000a; 2000b; 2000c) e a BNCC (2018).

Similarmente, na educação de surdos, o ensino-aprendizagem de Astronomia é pouco frequente, mesmo esse conhecimento oferecendo potenciais estímulos para o desenvolvimento da linguagem científica - tanto para estudantes surdos, quanto para estudantes ouvintes (NUNES, 2017; VIVIAN, 2018); além disso, a área ainda se configura com grande escassez de sinais científicos e de materiais didáticos bilíngues e visuais (NUNES, 2017; VIVIAN, 2018; VIVIAN; LEONEL, 2017; 2019).

Em suma, a escola tem o papel de formar cidadãos, não apenas com a oferta de conteúdos aos estudantes, mas proporcionando caminhos para o desenvolvimento de uma racionalidade crítica, de modo que esses estudantes sejam capazes de se incluírem socialmente e possam perceber e refletir sobre os problemas sociocientíficos e situações do seu entorno (SASSERON, 2010). Na educação de surdos, esses caminhos para o desenvolvimento podem ser acessibilizados e viabilizados através de práticas didáticas e pedagógicas bilíngues.

Proposta de intervenção didático-pedagógica de astronomia bilíngue

Tomando por base os pressupostos teóricos e práticos que balizam a Educação Bilíngue para surdos e a Educação em Astronomia, este trabalho tem o objetivo de evidenciar as contribuições de uma abordagem histórica sobre instrumentos astronômicos para o ensino-aprendizagem de Ciências para estudantes surdos(as), através de uma proposta e intervenções didático-pedagógicas bilíngues. Para isso, foram realizadas intervenções de ensino sobre tópicos de Astronomia, considerando uma sequência didática construída e implementada pela professora-pesquisadora durante uma pesquisa de mestrado, concluída em 2018 (VIVIAN, 2018).

A pesquisa foi desenvolvida pela professora-pesquisadora com um grupo de quatro estudantes do Ensino Fundamental, todas meninas com idades entre 13 e 15 anos, sendo três surdas e uma ouvinte filha de pais surdos⁵, em uma escola regular do interior do Rio Grande do Sul. A professora-pesquisadora possui formação em Ensino de Física e em Ensino e Interpretação de Libras, com Licenciatura e Pós-Graduação nas duas áreas; além disso atua efetivamente como Professora



Intérprete de Libras há 6 anos na escola onde a pesquisa foi realizada. Entretanto, no contexto da pesquisa a professora atuou como uma Física Educadora Bilíngue (VIVIAN, 2018).

Quanto às estudantes surdas, na época em que a pesquisa foi realizada, elas eram as únicas matriculadas na rede pública municipal, duas delas estavam no 5º ano e uma no 8º ano do Ensino Fundamental. As estudantes surdas ainda se encontravam em fase de alfabetização da língua portuguesa escrita e aquisição da Libras. Em razão disso, apresentavam algumas dificuldades com a leitura e interpretação de textos. Já a estudante ouvinte possuía conhecimentos de Libras e cultura surda, por conviver com os pais e familiares surdos; por isso, também foi convidada a participar do grupo de estudos e da pesquisa. Assim, todas as participantes do grupo - incluindo a professora-pesquisadora - eram sinalizantes, formando uma pequena comunidade surda (STROBEL, 2016).

A sequência didática continha 6 tópicos de Astronomia, que foram planejados e estruturados com base nas obras de Kepler e Saraiva (2014) e Horvath (2008), a saber: 1 - Introdução à Astronomia: o que é e o que estuda; 2 - Astros que compõem o Universo: principais objetos e corpos que o compõem; 3 - Foguetes, satélites artificiais e telescópios: O que são, como funcionam e para que servem?; 4 Estrelas e Sol: nascimento, vida e morte das estrelas; 5 Sistema Solar: composição e características e 6 - A Terra e Lua: Estrutura, peculiaridades e vida terrestre. Cada um desses tópicos foi abordado em duas ou três intervenções, totalizando 15 encontros extraclasse de aproximadamente 1h de duração.

Previamente, antes de cada intervenção, foram elaborados, pela professora-pesquisadora, planejamentos que sistematizam o objetivo, a apresentação e os conceitos a serem estudados. As atividades propostas nos planejamentos eram organizadas em quatro momentos (VIVIAN, 2018). No primeiro momento foram realizadas problematizações ou perguntas iniciais, para instigar as estudantes sobre o assunto a ser abordado, já indicando a elas os conceitos e o assunto a serem abordados no encontro. Nesse momento também foi apresentado o objetivo da intervenção. No segundo momento foram levantadas as apresentações conceituais, com a descrição, a caracterização e as discussões sobre os conceitos. Também puderam ser realizadas novas problematizações. O terceiro momento foi dedicado à retomada das questões iniciais onde as estudantes, após passar pelo segundo momento, poderiam ter condições lógicas para responder - integralmente ou parcialmente - os

questionamentos inicialmente levantados; se possível, também, formulando seus próprios questionamentos sobre o assunto estudado. Já o quarto momento consistiu no de registro e avaliação, que não precisaria estar necessariamente no final, pois pode ocorrer durante toda a intervenção, através da observação da própria professora-pesquisadora sobre as estudantes. Posteriormente, após cada intervenção, a professora-pesquisadora registrava suas observações, reflexões e descrições em um diário de bordo.

Este trabalho corresponde ao relato de duas intervenções sobre o tópico 3 - Foguetes, satélites artificiais e telescópios: o que são, como funcionam e para que servem?. Esse tópico foi ministrado em Libras, utilizando recursos didáticos e tecnológicos visuais, como o globo terrestre e a apresentação de slides - contendo imagens, vídeos (sem áudio) e pequenas frases em Português escrito (VIVIAN, 2018; VIVIAN; LEONEL, 2017; 2019) – configurando-se em um ambiente de ensino-aprendizagem bilíngue (QUADROS, 20098; VIVIAN, 2018; VIVIAN; LEONEL, 2017; 2019). O tópico 3 foi desenvolvido com o objetivo de proporcionar um entendimento sobre os instrumentos astronômicos - que foram construídos para melhorar a observação e o estudo do espaço pelo ser humano – através de uma perspectiva histórica sobre a origem e a utilização desses instrumentos nas Ciências e na sociedade. Nesse tópico, foi abordada com as estudantes a relevância do desenvolvimento dos telescópios, dos satélites artificiais e dos foguetes para as telecomunicações e para o nosso cotidiano.

Foguetes, satélites artificiais e telescópios: um relato de experiência

As duas intervenções realizadas envolveram uma reflexão sobre nossas limitações físicas e instrumentais para observação do céu e/ou viagens espaciais, considerando uma perspectiva histórica sobre o surgimento dos telescópios, como estes funcionam e como foram constituídos. Igualmente, foi abordada a importância histórica e atual sobre a construção de foguetes, que possibilitou ao ser humano a conquista do espaço, o lançamento de satélites artificiais, bem como uma evolução tecnológica e cultural da sociedade.

Assim, na primeira intervenção, inicialmente mostrando uma imagem com vários instrumentos astronômicos, dentre eles satélites e telescópios, foi realizado o seguinte questionamento: - O que essas imagens representam? - Que objetos são



esses? – Para que servem? As estudantes indicaram o telescópio e afirmaram que era utilizado para olhar as estrelas; já sobre os satélites artificiais elas ainda não sabiam a finalidade.

Em seguida, foi apresentada às estudantes a história da construção dos telescópios, desde seu primeiro criador Lippershey (1570-1619), em 1608; do aperfeiçoamento do instrumento por Galileo Galilei (1569-1642), em 1610; e do telescópio de Isaac Newton (1643-1727), em 1668 (KEPLER; SARAIVA, 2014). Na sequência, também foram apresentadas as diferenças entre os telescópios refletores e os refratores – mencionados nos modelos supracitados.

Para isso, foi apresentado o modelo de telescópio refletor, proposto por Johannes Kepler (1571-1630) em 1611, que utilizava duas lentes convexas. Com isso, Isaac Newton (1643-1727) construiu, em 1668, um telescópio refletor que é atualmente usado nos observatórios profissionais, com um espelho curvo (côncavo) em vez de uma lente; diferente dos telescópios refratores propostos por Galileo e Kepler (KEPLER; SARAIVA, 2014). Salientou-se de modo resumido para as estudantes que a principal diferença entre o telescópio refrator e o refletor, além do funcionamento, é que o primeiro usa lentes de vidro, enquanto o segundo utiliza espelhos. Foi destacado também que o refrator produz uma imagem mais nítida do que um refletor, que por sua vez capta melhor a luminosidade.

Posteriormente, foi discutido com as estudantes que os telescópios nos permitem observar o céu noturno e visualizar os astros através da ampliação da sua imagem, mencionado o surgimento de Observatórios Espaciais e o lançamento do telescópio espacial Hubble - que entrou em órbita em 1990 e até o momento fornece imagens eficientes do universo -para exemplificar o uso desses instrumentos na atualidade. Foi reforçado também que os telescópios nos permitem estudar e compreender a composição do universo, as características dos astros e os diferentes fenômenos astronômicos, contribuindo para os avanços tecnológicos.

O encontro foi finalizado com a apresentação de outros instrumentos astronômicos para o estudo do espaço e que compõem um Observatório Espacial, como as sondas interplanetárias, que são enviadas para monitorar e estudar os planetas, asteroides e cometas; os satélites artificiais, utilizados para que seja possível conhecer mais sobre o espaço à nossa volta, e também são importantes ferramentas na telecomunicação; os satélites, que são corpos que orbitam ao redor de outro corpo celeste muito maior, colocados em órbita ao redor da Terra, da Lua e de outros astros.

As estudantes se mostraram curiosas com relação às diferenças entre os telescópios refletor e refrator, comentaram que desconheciam as especificidades de ambos e se aproximaram da tela do computador para observar melhor as imagens apresentadas. Contudo, durante a apresentação inicial sobre os cientistas e modelos de telescópios desenvolvidos, as estudantes pareciam desinteressadas e pouco participativas. No final, foi solicitado às estudantes que elaborassem um desenho de um telescópio. Foi notável nos desenhos que elas reconheciam o telescópio como um instrumento de aproximação visual com os astros, pois ilustraram uma estrela localizada em frente à lente e outras mais afastadas, localizadas no que representaram como sendo um céu escuro.

Já na segunda intervenção, inicialmente, com a imagem de um foguete, foi realizado o seguinte questionamento: - O que é esse instrumento? – Para que serve?. Prontamente, as estudantes responderam que era um foguete e que era utilizado para ir à Lua, logo, questionaram se o foguete também poderia ser utilizado para ir às estrelas. Com isso foi discutido que atualmente era impossível devido à distância que as estrelas se localizam.

Posteriormente, usou-se uma imagem representativa da segunda guerra mundial e da disputa armamentista travada entre os Estados Unidos e a antiga União Soviética. Nesse momento uma das estudantes questionou porque eles estavam brigando. Com isso, na sequência foi apresentada às estudantes uma breve história do surgimento dos primeiros foguetes e suas interferências na sociedade moderna. Para isso, foi discutido sobre a Corrida Espacial em busca da conquista da Lua, que se caracterizou como uma importante disputa tecnológica e política durante a Segunda Guerra Mundial, entre os Estados Unidos e a União Soviética - utilizando um globo terrestre para situar esses países para as estudantes.

Então, foi indicado às estudantes que esse acontecimento permitiu o surgimento da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos (NASA - *National Aeronautics and Space Administration*) em 1958, uma das principais agências espaciais da atualidade (WINTER; PRADO, 2007). Assim, também foi discutido que um dos marcos iniciais dessa competição foi o lançamento da Sputnik I, levada ao espaço pelo foguete Semioroka, pela União Soviética e, depois, o lançamento da Sputnik II, que teve a bordo a cadela Laika, em 1957 (A história da Nasa, 2016); salientando que desde o primeiro satélite artificial, o Sputnik I, lançado pela União Soviética em 1957, mais de 3800 foguetes e 4600 satélites



artificiais foram lançados da Terra e, desses, mais de 500 estão em funcionamento (KEPLER; SARAIVA, 2014).

Com isso, foi apresentado que a partir de 1960, começaram as viagens tripuladas, e no Natal de 1968, três astronautas norte-americanos orbitam pela primeira vez a superfície da Lua, a bordo da Apollo 8; no ano seguinte, em 1969, o ser humano pisou na Lua, missão cumprida por Neil A. Armstrong e Edwin E. Aldrin Jr., a bordo da Apollo 11 (A história da Nasa, 2016). As abordagens foram concluídas enfatizando que o Brasil também teve seu momento, em abril de 2006, Marcos Pontes completou a missão de levar a bandeira brasileira ao espaço (WINTER; PRADO, 2007).

Para finalizar essa intervenção, foi explicado, de modo básico, o funcionamento de um foguete, considerando o princípio do movimento descrito pela Terceira Lei de Newton, sobre a Ação e Reação. Assim, foi discutido que no caso do foguete há a queima de combustível e oxigênio, onde o fogo e a energia gerada resultam em uma força que empurra o foguete em sentido contrário ao solo terrestre, possibilitando a decolagem. Nesse momento foi apresentado um vídeo com a decolagem de um foguete. Com isso, foi solicitado que as estudantes desenhasssem uma viagem espacial. Elas representaram em seus desenhos a Lua e um foguete se aproximando na direção do astro, provavelmente, por essa representação ser o acontecimento mais marcante que tinham sobre as viagens espaciais.

Considera-se que o objetivo de proporcionar um entendimento sobre os instrumentos astronômicos - que foram construídos para melhorar a observação e o estudo do espaço pelo ser humano – através de uma perspectiva histórica sobre a origem e a utilização desses instrumentos nas Ciências e na sociedade foi atingido; mesmo com situações de pouco interesse das estudantes, pois as discussões refletiram positivamente no registro dos desenhos.

As intervenções possibilitaram às estudantes a oportunidade de presenciar e participar um estudo histórico das Ciências, através da Astronomia, em um ambiente de Educação Bilíngue com uma Professora Bilíngue, que viabilizou e acessibilizou os conceitos científicos (VIVIAN, 2018). Com isso, entende-se que a imersão na Libras, na cultura surda e na visualidade (BRITO, 1993; QUADROS, 2008; STROBEL, 2016) são fundamentais para a promoção do ensino-aprendizagem de Ciências. Igualmente, a Educação em Astronomia Bilíngue oferece iguais condições de acesso aos conceitos científicos para estudantes surdos em comparação com estudantes ouvintes (MENEZES; CARDOSO, 2011; NUNES, 2017; VIVIAN, 2018).

Considerações finais

As discussões estabelecidas com as estudantes transitaram entre o contexto histórico e atual, para que elas pudessem refletir sobre alguns aspectos históricos da Ciência, proporcionando uma aproximação entre a Astronomia e as tecnologias, bem como o conhecimento sobre as influências da Astronomia para a evolução histórica, científica e tecnológica na transformação da sociedade moderna.

Para tornar as intervenções mais interativas e dialógicas, eram levantadas algumas questões no decorrer da apresentação de cada assunto, para possibilitar e potencializar o diálogo. Mesmo com a timidez do grupo, foi possível perceber que as estudantes já possuíam conhecimentos sobre a finalidade dos telescópios e sobre as viagens à Lua. Quanto ao ocorrido com a cadela Laika, todo o grupo lamentou e se comoveu, junto com a professora-pesquisadora.

Infelizmente, no decorrer das discussões, algumas das estudantes estiveram desinteressadas em alguns momentos, talvez porque não estivessem acostumadas com abordagens históricas aliadas ao estudo de Ciências. Contudo, o uso de recursos didáticos e tecnológicos visuais contribuiu significativamente para o entendimento das estudantes sobre os assuntos apresentados, isso foi notável através dos desenhos elaborados e pelas conversas que levantavam. Igualmente, o uso do Globo terrestre foi fundamental para que as estudantes pudessem se situar historicamente, de acordo com a ocorrência dos fatos. O estudo a partir da história das Ciências possibilitou uma percepção sobre a Astronomia como uma construção dinâmica, não neutra e de natureza humana, social e política. Evidencia-se, assim, a importância e a urgência da elaboração de materiais acessíveis, que apresentem a Astronomia e as Ciências, de modo geral, como uma atividade humana historicamente contextualizada. Igualmente, o processo de ensino-aprendizagem de Astronomia em Libras - aliada ao uso de recursos didáticos e tecnológicos visuais - proporcionou a aproximação da cultura surda com a cultura científica.

Em suma, os conceitos de Astronomia e de Ciências, em geral, devem ser acessíveis e adaptados para o contexto dos estudantes. Nessa perspectiva, a relação entre a Educação Bilíngue e a Educação em Astronomia contribui substancialmente para a reconfiguração do ensino-aprendizagem científico de surdos, através do entendimento sobre cultura surda e Libras pelos educadores.



Rockets, artificial satellites and telescopes through libras: a historical approach to teaching and learning astronomy in the deaf culture

Abstract

This work aims to highlight the contributions of a historical approach to astronomical instruments for the teaching-learning of Sciences for deaf students, through a proposal with bilingual didactic-pedagogical interventions. For this, two extra-class teaching interventions were carried out on an Astronomy topic entitled "Rockets, artificial satellites and telescopes: what are they, how do they work and what are they for?" This topic is part of a didactic sequence built and implemented during a master's research developed by the teacher-researcher - who acted as a Bilingual Physics Educator - with a group of four elementary school students, all girls aged between 13 and 15 years, being three deaf and one hearing daughter of deaf parents, in a regular school in the interior of Rio Grande do Sul. The study aimed to provide students with an understanding of astronomical instruments - which were built to improve human observation and study of space - through a historical perspective on the importance, origin and use of these instruments in Science, in technologies, in telecommunications and in society. The interventions allowed the students to participate in a historical study of Sciences, through Astronomy, in a Bilingual Education environment with a Bilingual Teacher, who made scientific concepts viable and accessible. In this sense, the relationship between Bilingual Education and Astronomy Education potentially contributed to the reconfiguration of scientific teaching-learning of deaf people, through the approximation of Brazilian Sign Language (Libras), deaf culture and scientific culture.

Keywords: Astronomy Education. Bilingual Education. Libras. Deaf Culture.

Notas

- ¹ No Art.2º do decreto nº 5.626 especifica-se como pessoa surda "aquela que, por ter perda auditiva compreende e interage com o mundo por meio de experiências visuais, manifestando sua cultura principalmente pelo uso da Libras"; é considerado como deficiente auditivo o indivíduo com perda bilateral, parcial ou total, de quarenta e um decibéis (dB) ou mais; aferida por audiograma nas frequências de 500Hz, 1.000Hz, 2.000Hz e 3.000Hz (BRASIL, 2005). Entretanto, no contexto cultural, dentro da comunidade surda, os sujeitos não se diferenciam pelo grau de surdez; assim todos se caracterizam como sendo surdos, devido ao pertencimento à cultura surda (STROBEL, 2016).
- ² A educação de surdos acontece em dois contextos, a saber: a escola regular - também denominada de escola inclusiva - e a escola de Educação Bilíngue para surdos. Nas escolas regulares, o estudante surdo é incluído em um ambiente onde os educadores e os estudantes são ouvintes - na maioria dos casos. Nesse contexto, a principal língua em que as aulas são ministradas é a língua portuguesa oral; assim, deve ser assegurada a presença de Intérpretes de Libras para traduzir e interpretar os conteúdos escolares, bem como para intermediar a comunicação entre surdos e ouvintes na comunidade escolar. Contudo, nesse espaço também deve ser efetivado o bilinguismo. Já o contexto da escola bilíngue, prevê a organização de ambientes especializados na educação de surdos. Nesse contexto, os estudantes são surdos ou surdo-cegos, as aulas são prioritariamente ministradas em Libras e considerando o uso do Português escrito de modo secundário; além disso, geralmente, os professores são bilíngues e, em alguns casos, também há a presença de Intérpretes de Libras. Quanto ao termo inclusão, entende-se como um propósito de valorização, respeito e acolhimento de todas as diferenças culturais, sociais, étnicas e/ou de gênero dos/das estudantes, com

o objetivo de proporcionar uma educação de qualidade para todos(as), conforme a Constituição Federal (BRASIL, 1988), a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) (BRASIL, 1996) e a Política de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva (BRASIL, 2008, 2014).

- ³ Professor(a) ou Educador(a) Bilíngue é aquele(a) profissional com formação pedagógica e/ou disciplinar, com fluência em Libras e em Português, podendo ser surdo(a) ou ouvinte (BRASIL, 2005; 2021). Frequentemente, esses profissionais atuam em escolas de Educação Bilíngue para surdos, mas podem atuar também na escola regular. Já o/a Intérprete de Libras é o/a profissional que realiza a mediação dos diálogos e atividades pedagógicas escolares entre estudantes surdos e estudantes e/ou professores ouvintes, bem como em toda a comunidade escolar (BRASIL, 2010).
- ⁴ Comunidade surda e povo surdo são dois conceitos importantes sobre cultura surda. O povo surdo abrange um grupo de sujeitos surdos que compartilham histórias, língua, costumes ou interesses semelhantes, mas não habitam um mesmo território; estão “ligados por um código de formação visual” (STROBEL, 2016, p. 42). A comunidade surda envolve o compartilhamento entre esses sujeitos em um local comum, onde se encontram surdos e também ouvintes, que defendem os mesmos ideais sobre a cultura surda (STROBEL, 2016).
- ⁵ Denomina-se de *Children of Deaf Adults* (CODA) os filhos(as) ouvintes de pais surdos(as).

Referências

- BRASIL, *Base Nacional Comum Curricular*. Ministério da Educação. Brasília, 2018.
- BRASIL, *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF, 1988.
- BRASIL, *Decreto nº 5.626*, de 22 de dezembro de 2005. Dispõe sobre a Língua Brasileira de Sinais, 2005.
- BRASIL, *Lei nº 10.436*, de 24 de abril de 2002. Dispõe sobre a Língua Brasileira de Sinais. Brasília, 2002.
- BRASIL, *Lei nº 12.319*, de 1º de setembro de 2010. Regulamenta a profissão de Tradutor e Intérprete da Língua Brasileira de Sinais. Brasília, 2010.
- BRASIL, *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Dispõe sobre a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), Brasília, DF, 1996.
- BRASIL, *Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência*. Lei nº 13.146, de 06 de julho de 2015. Dispõe sobre Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (LBI), o Estatuto da Pessoa com Deficiência. Brasília, 2015.
- BRASIL, *Lei nº 14.191*, de 3 de agosto de 2021. Altera a Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que dispõe sobre a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), para dispor sobre a modalidade de Educação Bilíngue de surdos. Brasília, DF, 2021.
- BRASIL, *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: PCN+ Ensino Médio – Física*. Ministério da Educação. Brasília, DF, 2000a.
- BRASIL, *Parâmetros curriculares nacionais para o Ensino Fundamental: Ciências Naturais – Ensino da primeira a quarta série*. Secretaria de Educação Fundamental. Ministério da Educação. Brasília, DF, 1997.
- BRASIL, *Parâmetros curriculares nacionais para o Ensino Fundamental: Ciências Naturais – Ensino da quinta a oitava série*. Secretaria de Educação Fundamental. Ministério da Educação. Brasília, DF, 1998a.



BRASIL, *Parâmetros curriculares nacionais para o Ensino Fundamental: Geografia – Ensino da quinta a oitava série*. Secretaria de Educação Fundamental. Ministério da Educação. Brasília, DF, 1998b.

BRASIL, *Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio: Parte III Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Ministério da Educação. Brasília, DF, 2000b.

BRASIL, *Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio: Parte IV Ciências Humanas e suas Tecnologias*. Ministério da Educação. Brasília, DF, 2000c.

BRASIL, *Plano Nacional de Educação*. Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014, dispõem sobre o. Brasília, 2014.

BRASIL, *Política Nacional de Educação Especial, na perspectiva da Educação Inclusiva*. Ministério da Educação (MEC). Brasília, DF, 2008.

BRASIL, *Política Nacional de Educação Especial, na perspectiva da Educação Inclusiva*. Ministério da Educação (MEC). Brasília, DF, 2014.

BRITO, L. F. *Integração Social e Educação de Surdos*. Rio de Janeiro: Babel, 1993.

HORVATH, J. E. *O ABCD da Astronomia e Astrofísica*. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

JÚNIOR, J. M.; TREVISAN, R. H. Um perfil da Pesquisa em Ensino de Astronomia no Brasil a partir da análise de periódicos de Ensino de Ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 26, n. 3, p. 547-574, 2009. Disponível em <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2009v26n3p547/14082>> Acesso em: 05 set. 2021.

KEPLER, S. O.; SARAIVA, M. DE F. O. *Astronomia e Astrofísica*. Departamento de Astronomia, Instituto de Física. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

LANGHI, R.; NARDI, R. Ensino da Astronomia no Brasil: educação formal, informal, não formal e divulgação científica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 4, p. 4402-2 – 4402-11, 2009a. <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/jPYT5PRkLsy5TJQfM8pDWKB/?lang=pt&format=pdf>>

LANGHI, R.; NARDI, R. Educação em Astronomia no Brasil: alguns recortes. SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 13, Vitória, ES, 2009b. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/e-ventos/snef/xviii/>> Acesso em: 17 set. 2019.

LANGHI, R.; NARDI, R. *Educação em Astronomia: Repensando a formação de professores*. São Paulo: Escrituras, 2013.

LANGHI, R.; NARDI, R. Justificativas para o ensino de Astronomia: o que dizem os pesquisadores brasileiros? *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 14, n. 3, p. 41 – 59, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4292/2857>> Acesso em: 15 set. 2019.

MENEZES, D. P. DE. CARDOSO, T. F. L. Planetário da Gávea: ampliando a visão cosmológica de alunos surdos. SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 19, Manaus, 2011. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T0678-1.pdf>> Acesso em: 30 set. 2016.

MÜLLER, J. N.; KARNOPP, L. B. *Educação Escolar Bilíngue de Surdos*. 37ª Reunião Nacional da ANPED, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

MORTIMER, E. SCOTT, P. *Meaning making in secondary science classrooms*. Philadelphia: Open University Press. Maidenhead, 2003.

NEVES, M. C. D.; ARGUELLO, C. A. *Astronomia de régua e compasso: de Kepler a Ptolomeu*. Campinas: Papirus, 1986.

NUNES, M. R. *Possibilidades e desafios no Ensino de Astronomia pela Língua Brasileira de Sinais*. 2017. Dissertação de Mestrado em Ensino de Astronomia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://www.iag.usp.br/pos/sites/default/files/d_marilia_r_nunes_original.pdf> Acesso em: 18 maio 2018.

On Line Editora; Astronomia On Line Editora; Curiosidades On Line Editora. Guia Quero Saber: *A História da Nasa*. ed. 4. São Paulo: Ed On-line, 2016.

QUADROS, R. M. *Educação de Surdos: A Aquisição da Linguagem*. Versão impressa 1997. Recurso eletrônico. Porto Alegre: Artmed, 2008.

QUADROS, R. M. *Estudos surdos I*. Petrópolis: Arara Azul, 2006.

QUADROS, R. M. de; PERLIN, G. T. *Estudos Surdos II*. Petrópolis: Arara Azul, 2007.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica e documentos oficiais brasileiros: um diálogo na estruturação do ensino de Física. In: CARVALHO, A. M. P. (Org) *Ensino de Física*, São Paulo: Cengage Learning, p 1-27, 2010. Disponível em: <<https://scholar.google.com/citations?user=IV-ZPSB0AAAAJ&hl=pt-BR>> Acesso em: 10 fev. 2021.

SKLIAR, C. *A surdez: um olhar sobre as diferenças*. Porto Alegre: Mediação, 1998.

SOLER, D. R; LEITE, C. Importância e justificativas para o ensino de Astronomia: um olhar para as pesquisas da área. SIMPÓSIO NACIONAL DE EDUCAÇÃO EM ASTRONOMIA, 2, São Paulo, SP, 2012. Disponível em: <http://snea2012.vitis.uspnet.usp.br/sites/default/files/SNEA2012_TCO21.pdf> Acesso em: 8 set. 2021.

STROBEL, K. *As imagens do outro sobre a cultura surda*. 4 Ed, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

VIVIAN, E. C. P. *Ensino-Aprendizagem de Astronomia na Cultura Surda: um olhar de uma Física Educadora Bilíngue*. 2018. Dissertação. Mestrado em Ensino de Física. Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática e Ensino de Física, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

VIVIAN, E. C. P.; LEONEL, A. A. Ensino de Astronomia para a educação de crianças surdas e deficientes auditivos na perspectiva de um Intérprete de Libras. SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 22, São Carlos, 2017. Disponível em: <<http://www1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxii/sys/resumos/T0795-1.pdf>> Acesso em: 02 dez. 2017.

VIVIAN, E. C. P.; LEONEL, A. A. Cultura Surda e Astronomia: investigando as potencialidades dessa articulação para o Ensino de Física. *Revista Contexto & Educação*, v. 34, n. 107, p. 154 – 173, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.21527/2179-1309.2019.107.154-173>> Acessado em 10 out. 2020.

WINTER, O. C.; PRADO, A. F. B. de A. *A conquista do espaço: do Sputnik a missão Centenária*. São Paulo: Livraria da Física, 2007.