

Transparência *versus* opacidade na educação em ciências: as imagens na física de partículas elementares

Henrique César da Silva

Jonathan Thomas de Jesus Neto

125

Resumo

Imagens são frequentemente utilizadas na educação em ciências apenas como ferramentas de ensino, supondo uma transparência delas em relação aos sentidos e ao mundo. Apoiado em trabalhos dos campos da epistemologia, da história da ciência e da análise de discurso como referenciais, o estudo opõe a imagem como opacidade à imagem como transparência, destacando aspectos de suas condições de produção. Para verificar se a imagem aparece como representação ou como objeto construído, são empregadas noções como memória discursiva, intericonicidade e cultura material, para analisar dispersões, regularidades, deslocamentos e efeitos metafóricos entre imagens relativas às partículas elementares do campo da física, que dão visibilidade à sua materialidade histórica, ou seja, à sua opacidade. As imagens não são transparentes em relação aos conceitos nem em relação à realidade. Trabalhar imagens como opacidade, como objeto construído, possibilita que elas sejam tomadas como objetos de estudo nas práticas de ensino.

Palavras-chave: discurso; imagem; partículas elementares; teoria quântica; transparência; opacidade.

Abstract

Transparency versus opacity in science education: images in the physics of elementary particles

Images are often used in science education, but just as teaching tools; they will bear a presupposed transparency in relation to the senses and to the world. Benchmarked by works in the fields of epistemology, history of science and discourse analysis, this paper sets 'image as opacity' against 'image as transparency', highlighting aspects of their production conditions. To verify whether image is shown as a representation or as a constructed object, this study uses notions such as discursive memory, intermediation and material culture to analyze dispersions, regularities, displacements and metaphorical effects in images related to the elementary particles in the field of physics. These give visibility to its historical materiality or, better said, to its opacity. Images are not transparent, neither when linked to concepts nor when linked to reality. Using images as opacity, as a constructed object, enables teaching practices in which they are taken as objects of study.

Keywords: discourse; image; elementary particles; quantum theory; transparency; opacity.

Resumen

Transparencia versus opacidad en la educación en ciencias: las imágenes en la física de partículas elementales

Imágenes son frecuentemente utilizadas en la educación en ciencias apenas como herramientas de enseñanza, suponiendo una transparencia de ellas con relación a los sentidos y al mundo. Apoyado en trabajos de los campos de la epistemología, de la historia de la ciencia y del análisis de discurso como referenciales, el estudio opone la imagen como opacidad a la imagen como transparencia, destacando aspectos de sus condiciones de producción. Para verificar si la imagen aparece como representación o como objeto construido, son empleadas nociones como memoria discursiva, intericonicidad y cultura material, para analizar dispersiones, regularidades, desplazamientos y efectos metafóricos entre imágenes relativas a las partículas elementales del campo de la física, que dan visibilidad a su materialidad histórica, o sea, a su opacidad. Las imágenes no son transparentes en relación a los conceptos ni a la realidad. Trabajar imágenes como opacidad, como objeto construido, posibilita prácticas de enseñanza en que ellas sean tomadas como objetos de estudio.

Palabras clave: discurso; imagen; partículas elementales; teoría cuántica; transparencia; opacidad.

Introdução

Este trabalho é um dos produtos de trajetória de reflexões, estudos e pesquisas que visam derivar subsídios e práticas de ensino no campo da educação em ciências com base em uma concepção de ciência compreendida como processos intrincados e inseparáveis de produção, circulação e textualização de conhecimentos (efeitos de sentido/modos de pensar).¹

Também as práticas de ensino nesse campo lidam inevitavelmente com objetos simbólico-textuais nas suas mais diversas formas (gráficos, diagramas, textos literários, divulgação científica, textos didáticos, imagens fixas, animações em vídeo, simulações, fórmulas e equações matemáticas, originais de cientistas, audiovisual, teatro, poesia, charges, HQs²). No entanto, em geral, tais práticas parecem pressupor uma concepção que separa conhecimento e linguagem, em que os objetos de linguagem aparecem como transparentes em relação aos conhecimentos a que estão vinculados. Concepção essa, implícita, em que as produções de linguagem e os processos de circulação e de textualização se dariam *separadamente, fora, ou depois* da produção dos conhecimentos.

Shapin (2013), autor do campo da história da ciência, questiona essa concepção ao analisar o papel das *tecnologias literárias* na produção de conhecimentos científicos no século 18, quando da criação do que viria a se transformar nos atuais artigos científicos. Essa concepção, que separa linguagem (objetos simbólicos) dos objetos de conhecimento, faz derivar nas práticas de ensino o uso de materiais textuais (verbais, imagéticos, audiovisuais) como meros recursos, instrumentos que trariam, presentificariam, mostrariam o fenômeno, o objeto de conhecimento. Os objetos simbólicos apareceriam, então, como meros instrumentos de informação e de comunicação. Objetos, assim, invisíveis enquanto objetos, “janelas abertas”, sobre os quais nada se fala, em função de se ater ao que eles supostamente diriam, significariam, mostrariam de maneira inequívoca e unívoca, como se fossem transparentes em relação ao mundo e aos conhecimentos (efeitos de sentidos/modos de pensar).

O intuito geral dessa perspectiva é o de propiciar elementos para a constituição de práticas de ensino que trabalhem, junto aos conhecimentos científicos, a própria existência material (social, histórica, cultural e simbólica) desses textos, tornada ela também objeto do discurso pedagógico, restabelecendo sua opacidade, na sua relação com o conhecimento e com o mundo. Essa perspectiva pressupõe uma relação constitutiva entre conhecimento e linguagem, mais especificamente, entre discurso e conhecimento. Nesse entendimento, nossos objetos empíricos são os textos (verbais, imagéticos e audiovisuais), mas nosso objeto de pesquisa são as textualizações. Esse pensamento é aprofundado em Silva (2014, p. 87):

¹ Referimo-nos aos trabalhos do grupo Fluxo: Circulação e Textualização da Ciência e Educação Científica <<http://fluxo.ufsc.br/>>.

² História em quadrinhos, no Brasil; banda desenhada, em Portugal.

Trabalhar com a textualização significa construir práticas e fazer opções pedagógicas que impliquem em considerar não apenas o conteúdo dos textos como também sua materialidade inscrita e funcionando num determinado contexto histórico-social, ou seja, o texto em sua materialidade como elemento de um processo mais amplo, um processo de circulação social de uma temática.

Embora venhamos estudando diversos materiais textuais,³ este trabalho se circunscreve ao caso das imagens de partículas elementares, objetos de conhecimento relacionados a áreas da física como a das altas energias, da física de partículas, do modelo padrão e da teoria de campos, todas elas fundamentadas na teoria quântica.

Buscou-se dar visibilidade à imagem como opacidade em oposição à imagem como transparência, restituindo aspectos das condições de produção das imagens interligados às condições de produção dos conhecimentos a que estão vinculados.

Assim, apresentam-se imagens da física de partículas elementares como objetos construídos, produzidos mediante a conceitualização da imagem como textualização de discursos. Enquanto opacidade, a imagem é tomada como materialidade inscrita numa história, participante de efeitos de sentidos, objeto construído em meio a processos de circulação constitutivos da produção social, institucional e cultural (textualização) de conhecimentos científicos, e não como suporte de supostos “conteúdos” (imagem-transparência). Com base nessa abordagem discursiva sobre a imagem, nosso texto torna visíveis aspectos de suas diferentes materialidades, sua dispersão, suas regularidades, suas condições de produção, incluindo tanto a memória (historicidade) quanto a cultura material e as formas de pensamento (conhecimento) associadas a seus diferentes sentidos. A imagem aparece como dispositivo de produção/circulação constitutivo da produção do conhecimento, de formas de pensar, perceber, conceber o mundo natural. Chamamos isso de imagem como opacidade.

Por transparência, compreendemos, portanto, a atribuição de univocidade e inequivocidade à relação entre imagens e “seu” sentido, entre imagem e mundo, o silenciamento da imagem enquanto tal (objeto produzido, descritível) para se falar apenas do que ela representaria, de seu objeto ou referente. Por transparência, entendemos o efeito de evidência de um único sentido para um objeto simbólico, no caso, uma imagem e sua relação unívoca com o mundo (referente). Assim, trabalhar a opacidade é dar visibilidade a esse efeito, desconstruindo-o. A seguir veremos com mais detalhes os aspectos teóricos que consideramos relacionados com a transparência/opacidade das imagens do campo da física de partículas, para, na seção seguinte, apresentarmos a análise empírica de desconstrução desse efeito de transparência.

³ Lima (2017) analisou a textualização de elementos relacionados à teoria quântica em livros de autoajuda e a própria relação entre exemplares do discurso de divulgação e o de autoajuda; Girelli (2016) analisou diferentes textualizações de um dispositivo tecnológico brasileiro associado ao contexto das nanotecnologias.

Relações entre discurso e epistemologia para o caso das imagens

Se em Bachelard (1996) encontramos a ideia de um inconsciente do pensamento que exigiria uma psicanálise específica, em Fleck (2010) temos a concepção de que a produção de conhecimento é regida por estilos de pensamento e por relações entre diferentes estilos, correspondendo ao que “não pode ser pensado de outra maneira” (Fleck, 2010, p. 80). Estilos que constituem a percepção e o pensamento dos sujeitos, como sujeitos do conhecimento. Em Thomas Kuhn (1995), temos uma concepção próxima nas noções de matriz disciplinar e paradigma.

O pensamento, no entanto, é materializado em práticas, instrumentos, instituições e em objetos simbólico-textuais, ou seja, tem uma relação constitutiva com as linguagens, ainda que essa relação não seja seu único modo de materialização, mas é o modo cuja análise e reflexão constitui nosso recorte, e que chamamos de textualização. Palma (2009), ao analisar as relações entre metáfora (um fenômeno de linguagem) e conhecimento científico, lembra o caráter cognoscitivo das metáforas, muitas vezes obliterado, além de suas já conhecidas funções estilísticas, didáticas e retóricas.

Em comum nesses autores constata-se o fato de que, embora haja um sujeito do conhecimento, este é constituído no próprio movimento e processo de sua produção, estabilização, manutenção e reprodução, ou seja, em sua circulação. Se esses processos não se dão apenas pelas linguagens em funcionamento, delas não podem prescindir, menos pela sua função comunicativa do que pelo investimento do simbólico na constituição e repartição dos modos de pensar a realidade. Porém, no lugar de uma abordagem que abstrai a categoria conhecimento de suas condições concretas de produção, baseados em Pêcheux (1995) e outros autores, trabalhamos uma abordagem em que o conhecimento se encontra em práticas, nem todas elas envolvendo linguagens, mas todas ligadas a práticas que envolvem produção e circulação de objetos simbólico-textuais.

Pêcheux (1995, p. 102 – grifo nosso), em sua teoria do discurso, que articula elementos do materialismo histórico, da linguística e da psicanálise, partindo de uma crítica ao logicismo de Frege, faz o seguinte comentário:

Concluiremos esta primeira aproximação do problema do *pré-construído* destacando, como uma sua característica essencial, a separação fundamental entre o pensamento e o objeto de pensamento, com a pré-existência deste último, marcada pelo que chamamos uma discrepância entre dois domínios de pensamento, de tal modo que o sujeito encontra um desses domínios como *o impensado de seu pensamento*, impensado este que, necessariamente, pré-existe ao sujeito.

Também, segundo Malidier (2003, p. 48), “o pré-construído pode articular ao mesmo tempo o efeito de anterioridade ou de distância e o efeito de identificação ou de reconhecimento”. É com base nessa noção de pré-construído que a análise de discurso (AD) de origem francesa vai definir o discurso como efeito de sentidos pela inscrição da materialidade da linguagem na história e considerar que sujeitos e sentidos se constituem simultaneamente. Um material textual só significa porque

se inscreve num campo de memórias, já-ditos, já-vistos, inscrição que faz, deslocando o sujeito como centro, trabalhar o jogo paráfrase/polissemia, entre o dizer/ver o mesmo e o dizer/ver o diferente. Esse campo de memórias é heterogêneo e irrepresentável, mas articula regularidades, tensões, deslocamentos e repetições que podem ser empiricamente descritas.

Embora originalmente a AD se estabeleça numa relação com a linguística, voltando-se para textos verbais, nas últimas décadas sua abordagem tem incorporado outras materialidades, entre elas a das imagens.

Sobre a relação entre imagem e memória, Pêcheux (1995, p. 55) diz que:

A questão da imagem encontra assim a análise de discurso por um outro viés: não mais a imagem legível na transparência, porque um discurso a atravessa e a constitui, mas a imagem opaca e muda, quer dizer, aquela da qual a memória “perde” o trajeto de leitura (ela perdeu assim um trajeto que jamais deteve em suas inscrições).

As transferências de sentidos entre imagens numa rede se dão por efeitos metafóricos, que marcam a transferência necessária para haver sentido entre um significado que já existe e outro que pode ser sua repetição ou seu deslocamento. A noção de efeito metafórico está associada ao fato de que o sentido não tem origem e não “emana” do texto (imagem), e de que sempre há um já-dito, “algo fala sempre antes, em outro lugar e independentemente” (Pêcheux, 1995, p. 162), ou um “sempre-já”, para o caso da imagem (Courtine, 2013).

Analisando a produção de sentidos sobre a síntese newtoniana em situações de ensino com foco no funcionamento de textos verbais e imagens, consideramos que se poderia aplicar a formulação de Orlandi (1999) sobre a noção de interdiscurso para o caso das imagens conforme apresentada por Silva (2002, p. 78 – grifo do autor): “o saber discursivo que torna possível todo *ver* e que retorna sob a forma do pré-construído, o *já-visto* que está na base do *visível*, sustentando cada *visibilidade*”.

O caráter simultaneamente discursivo e epistemológico das imagens é analisado por Silva *et al.* (2006, p. 77), que expõem esta concepção discursiva de imagem:

[...] as imagens vão se inscrever e se constituir em uma cultura visual, uma cultura atrelada a uma memória visual [...]. A interpretação de imagens pressupõe e faz trabalhar uma história, pois as imagens estão inseridas numa “rede de imagens já vistas, já produzidas, que compõe a nossa cotidianidade”.

Uma abordagem discursiva sobre a imagem, diferenciando-se das abordagens semiológicas, foi aprofundada por Courtine (2013, p. 43, 44), com base na noção de memória discursiva, ou interdiscurso, da qual o autor derivou a noção de intericonicidade:

[...] a ideia de memória discursiva implica que não existem discursos que não sejam interpretáveis sem referência a uma tal memória, que existe um “sempre-já” do discurso, segundo a fórmula que nós empregamos então para designar o interdiscurso. Eu diria a mesma coisa da imagem: toda imagem se inscreve em uma cultura visual, e esta cultura visual supõe a existência junto ao indivíduo de uma memória visual, de uma memória das imagens onde toda imagem tem um eco. Existe um “sempre-já” da imagem.

(...)

A intericonicidade supõe, portanto, relacionar conexões de imagens: imagens exteriores ao sujeito, como quando uma imagem pode ser inscrita numa série de imagens, uma arqueologia, à maneira do enunciado numa rede de formulações junto a Foucault; mas também imagens internas, que supõem a compreensão de todo o catálogo memorial da imagem em um indivíduo.

Com a noção de intericonicidade de Courtine (2013), Neto e Silva (2017a, 2017b) destacaram as memórias que constituem as visibilidades, para pensar as tensões epistemológicas que as engendram, no caso desses objetos da física. Articulando “as imagens analisadas com outras imagens neste espaço heterogêneo de memória e a partir de pistas, rastros de imagens de trajetórias, percebemos que há uma rede de significação que dispersa e desloca os sentidos da Física Quântica” (Neto; Silva, 2017a).

As análises que apresentamos neste trabalho derivam de trabalhos anteriores (Neto; Silva, 2014, 2017a, 2017b; Neto, 2015), nos quais as imagens do campo da física das partículas elementares foram selecionadas de diferentes espaços de produção e circulação, com diferentes materialidades. Fizemos operar esses pressupostos teórico-metodológicos de uma abordagem discursiva das imagens para dar visibilidade à sua opacidade, à relação não unívoca e inequívoca com os “seus” sentidos, com o objeto do mundo que supostamente representariam, restabelecendo seu caráter de objeto produzido, construído simultaneamente ao conhecimento do objeto a que está associada.

131

Análises e resultados

Organizamos a apresentação das análises e resultados em quatro tópicos relativos aos aspectos da não transparência (opacidade) que se evidenciaram, mediante um *corpus* inicial.

Um conjunto de imagens, tomadas como representações de partículas elementares consiste no *corpus* inicial, diversificado quanto aos diferentes tipos de textos, situações, suportes em que elas aparecem e circulam, e por estarem ligadas a diferentes instituições e práticas culturais, dos laboratórios às escolas e universidades. Esse conjunto não tem a pretensão de representar uma totalidade, mas uma dispersão. Não são todas as imagens que circulam, mas certamente são imagens que circulam sobre o mesmo objeto, em espaços institucionais diferentes e em suportes textuais diferentes, porém todos eles relacionados de um modo ou de outro com a produção e circulação de conhecimentos científicos sobre partículas elementares. De livros didáticos a periódicos, passando pela divulgação científica, o conjunto abarca também certa extensão temporal relacionada à produção científica de conhecimentos sobre as partículas elementares. Esses foram os critérios utilizados para compor o *corpus* inicial de análise representado nas Figuras 1 a 13.



Figura 1 – Amostra de imagens de câmara de bolhas extraída de um livro didático

Fonte: Pietrocola (2016, p. 257).



Figura 3 – Amostra de imagens de câmara de bolhas extraída de um livro didático

Fonte: Young (2019, p. 274).

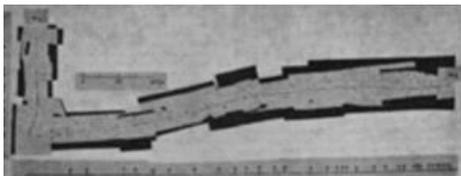


Figura 5 – Amostra de uma emulsão nuclear

Fonte: Lattes (1947, p. 695).

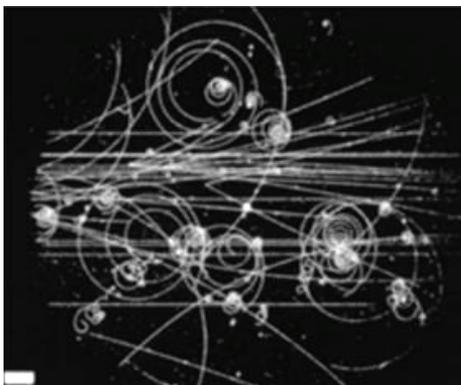


Figura 7 – Amostra de imagem capturada do experimento de câmara de bolhas

Fonte: Grupen; Shwartz (2008, p. 1654).



Figura 2 – Partículas elementares realizando trajetórias curvas devido à presença de um campo magnético

Fonte: Young (2019, p. 213).

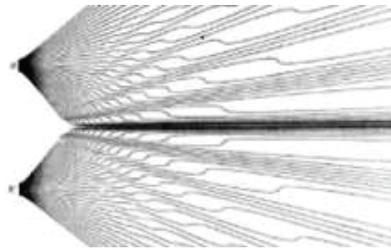


Figura 4 – Trajetória para o experimento da dupla fenda segundo a interpretação de David Bohm

Fonte: Pessoa Junior (2006, p. 241).



Figura 6 – Amostra de uma fotografia capturada de uma câmara de nuvens

Fonte: Wilson, C. T. R. (1912, Plate 7, Figure 1).

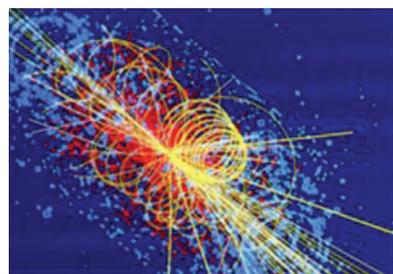


Figura 8 – Fotografia produzida por simulação computacional

Fonte: Taylor (2013 ?).

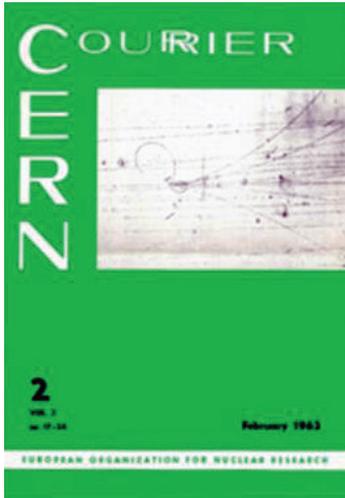


Figura 9 – Capa da revista

Fonte: CERN Courier, v. 3 n. 2, feb. 1963.



Figura 10 – Capa da revista

Fonte: CERN Courier, v. 55, n. 2 mar. 2015.

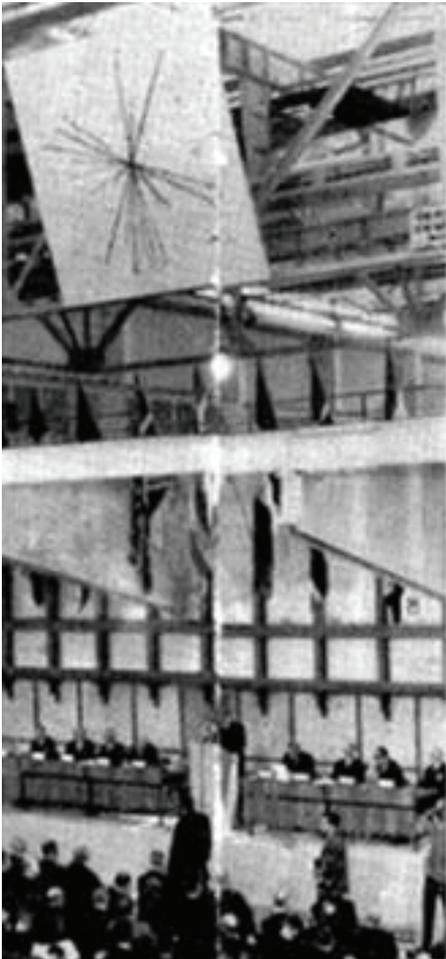


Figura 11 – Evento com o Mosaico

Fonte: Sterchi (1960, p. 6-7) União de duas imagens que estavam cada metade em uma página.

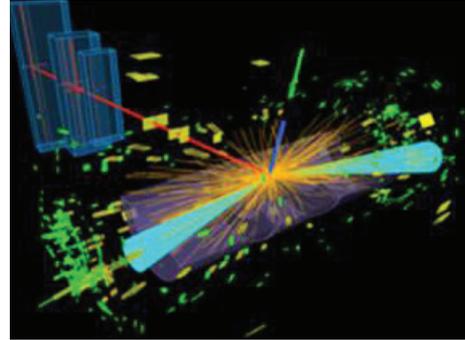


Figura 12 – Amostra de imagem divulgada pelo CERN

Fonte: CERN (2012).

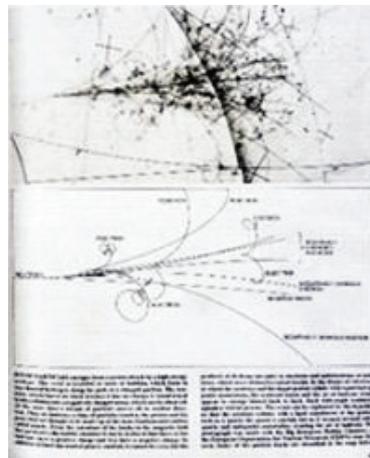


Figura 13 – O experimento seguido do desenho

Fonte: Landshoff; Jacob (1980, p. 47).

Encontramos quatro elementos da não transparência (opacidade) das imagens de partículas elementares:

- 1) as imagens que elas podem evocar pela inscrição numa rede de imagens, revelando um “sempre-já” das imagens (Courtine, 2013);
- 2) as imagens no interior de formações discursivas diferentes, regiões do interdiscurso marcadas por um corte epistemológico (Pêcheux, 1995; Bachelard, 1996, 2006, 2010);
- 3) as condições de produção e circulação de imagens a partir dos laboratórios, dentro do contexto da cultura material específica da física (Galison, 1997); e
- 4) algumas relações entre imagens e textualizações verbais.

Vejam os aspectos de cada um desses aspectos.

1) *Imagens evocadas – rede de imagens e intericonicidade*

O objeto-fato, antes invisível, tem, no entanto, para além da ilusória transparência de suas imagens, uma existência material complexa. Visualizado, mas jamais visto; concebido, mas sem análogo no mundo visível, conhecido e experimentado cotidianamente, contudo, suas imagens não deixam de evocar e fazer trabalhar, intericonicamente, outras imagens conhecidas, ou de situações conhecidas, experienciadas. A regularidade intericonicial que encontramos nessas imagens é de rastros, trilhas, caminhos. Rastros indiciais de trajetórias. Evidência, prova, realidade de um movimento da coisa no tempo e no espaço. Da coisa, às vezes, só ser traço/rastro; às vezes, *bola*, um deslizamento do sentido de *partícula*. As imagens das Figuras 1, 2, 6, 7 e 8 do *corpus* inicial, por exemplo, evocam as imagens das Figuras 14 a 18. Estas são, por sua vez, indícios, traços daquelas no espaço da memória dos efeitos de sentidos.

Uma situação de silêncio dos interlocutores diante de *imagens* de partículas elementares não apaga o que as imagens falam a eles e por eles, mudamente, porém, com outros sentidos, pois é impossível impedir que alguma memória de sentido trabalhe na significação, impedir que intervenha na construção de outras referencialidades para a mesma imagem.

Ao colocar lado a lado diversas imagens de “um mesmo objeto”, ou que poderiam ser associadas a um mesmo objeto, a não transparência aparece na quebra da “ilusão” da relação biunívoca com seu referente, do imaginário que atuava na correlação imagem-objeto como se esta fosse única. Se algumas dessas relações de intericonicidade funcionam pela inescapável inscrição material da imagem na história (memória), pela abertura do seu caráter simbólico, epistemologicamente é preciso *dizer não* a essa correlação realista (Bachelard, 2010). O discurso outro, que não o do paradigma atual da física (no caso o paradigma da teoria quântica), pode ser trazido para o contexto de ensino pelas relações de intericonicidade como o *impensado do pensamento*, textualizado por imagens que só produzem sentido porque inseridas numa rede. Essa rede é que precisa ser epistemologicamente trabalhada.

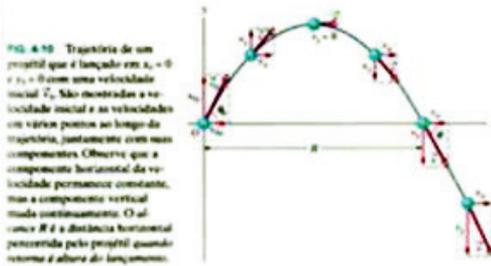


Figura 14 – Recorte de imagens sobre trajetória de projéteis e sua legenda

Fonte: Hallyday (2009, p. 71).



Figura 15 – Rastros deixados na areia por pneu de bicicleta e pegadas humanas

Fonte: Cicloturismo no lagamar (2004).



Figura 16 – Contrails: marcas deixadas por um avião no céu

Fonte: Larson (2005).



Figura 17 – Rastros deixados no céu por fogos de artifícios

Fonte: Photography at the speed of life (2012).

2) Imagens e formações discursivas

É preciso, em meio a essa dispersão do movimento próprio ao funcionamento histórico-material do simbólico, um movimento de transferências de sentidos em redes, circunscrever o objeto de ensino, ou seja, as partículas elementares, fazer trabalhar sua dimensão de pensamento. Em uma prática de ensino com imagens, bastariam a dispersão e a participação dos estudantes com suas memórias, se não se estivesse buscando trabalhar uma significação específica sobre a realidade, aquela construída pela física.

O objeto de ensino em questão, as partículas subatômicas, são, no contexto de significação da física, compreendidas dentro da teoria quântica, que dá significado às entidades de maneira diferente da física clássica. Nesta, a significação ontológica do mundo natural é próxima da nossa percepção/significação comum (localização, tempo, espaço e massa absolutos, diferença entre matéria e energia, trocas contínuas de energia, diferença entre onda e partícula), do nosso realismo imediato baseado na extensão e na *localidade* (Bachelard, 2010). A Figura 18 também representa uma partícula e suas trajetórias possíveis. Trata-se de uma imagem exemplar (Kuhn, 1995)

do paradigma do eletromagnetismo clássico. Há uma relação de intericonicidade entre essa imagem e as das Figuras 2, 7, 8, 9 e 13. Do ponto de vista da significação, podemos então falar em dois campos em jogo, duas regiões no espaço geral do interdiscurso que sustenta a significação dessas imagens, relacionadas entre si por um corte epistemológico – uma região ou formação discursiva relativa à física clássica e outra relativa à física quântica.

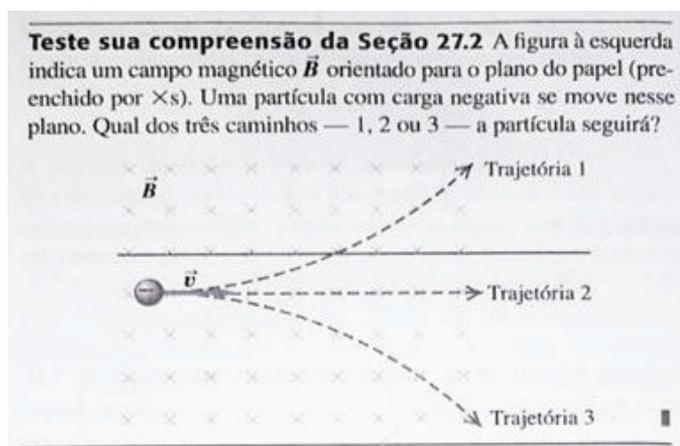


Figura 18 – Partícula carregada em um campo magnético com três possíveis trajetórias

Fonte: Young; Friedman (2009, p. 208.)

136

Bachelard (2006, 2010) discute aprofundadamente a ruptura entre os modos de pensar clássico e quântico em relação à noção de partículas, pois, para ele, trabalhar as memórias, relativas às imagens de partículas, significa enfrentar os obstáculos epistemológicos relacionados às noções de *coisismo* e de *choquismo* e às noções de localidade e extensão. A noção de *coisismo* é definida por sentidos em que as partículas assumem características de objetos da física clássica. São exemplos dessas características quando partículas são tratadas como corpúsculos, compreendidas como corpos pequenos, com dimensões absolutas e forma assinalável. Já a noção de *choquismo* é definida quando sentidos de colisão são atribuídos às partículas. Na física quântica, quando as partículas passam por uma região suficientemente estreita, elas não se chocam. O que ocorre é uma interação entre elas, a ponto de ser impossível distinguir uma partícula de outra. Elas podem trocar energia de modo que afete suas massas, produzir outras partículas, aniquilar-se. Acontecimentos que não seriam possíveis pela interpretação do mundo da física clássica.

Assim, a memória discursiva atua produzindo um efeito de realidade sobre esses objetos que não coincide com a realidade tal qual concebida dentro da significação/interpretação da teoria quântica. É preciso desrealizar esses objetos (Bachelard, 2010). Fazer trabalhar essa memória, intervir na sua rede, nos limites das regiões em conexão pelo corte epistemológico.

Essa desrealização, do ponto de vista discursivo, significa trabalhar a não transparência da imagem, na constituição de outro referente (outro efeito de

realidade) para as imagens de partículas. No regime de visibilidade da física, o da representação, mas uma representação construída pela não coincidência com a realidade (Silva *et al.*, 2006), há um “sempre-já” das imagens que corresponde a um obstáculo epistemológico, na medida em que, na recorrência histórica, esse significado, a partir da formação discursiva clássica, não existe mais na física. Estamos lidando com formações discursivas que se relacionam de forma peculiar por meio de um corte epistemológico, de modo que a relação do pensamento com o real (Pêcheux, 1995) não é a mesma em ambas as formações.

Em Pêcheux (1995, p. 192-193) temos uma reflexão que interliga o discursivo e o epistemológico, numa vertente evidentemente bachelardiana:

O que resulta disso no que se refere à discursividade é que o efeito de conhecimento coincide, nessas condições, com um efeito de sentido inscrito no funcionamento de uma formação discursiva, isto é, como se viu, o sistema de reformulações, paráfrases e sinonímias que a constitui.

(...)

Isso significa dizer que o momento histórico do corte [epistemológico] que inaugura uma ciência dada [ou um novo paradigma dentro de uma ciência, como o da teoria quântica dentro da Física] é acompanhado necessariamente de um questionamento da forma-sujeito e da evidência do sentido que nela se acha incluída.

Mas, mesmo no interior de uma nova formação discursiva, a da teoria quântica, produzida por um corte epistemológico, temos dispersão interpretativa (Pessoa Junior, 2003, 2006). Assim, no campo das imagens, há enunciados imagéticos diferentes para esses objetos/entidades do mundo da microfísica. A teoria quântica, ainda que sob a hegemonia da interpretação da complementaridade, possui uma dispersão interpretativa quanto à ontologia desses objetos da microfísica, que configura debates ainda em aberto, e que remontam às discussões no Congresso de Solvay, realizado em 1927.

No contexto desses debates, imagens representam o *mesmo objeto* de diferentes maneiras a partir de diferentes interpretações sobre ele. A relação entre representações pictóricas de entidades quânticas, particularmente de orbitais atômicos, e sua dispersão interpretativa é apontada por Pessoa Junior (2007, p. 32):

o conceito de “orbital” é proveniente da teoria quântica, e argumentamos que essa teoria pode ser interpretada de diferentes maneiras, tanto realistas quanto positivistas. Assim, o significado das representações pictóricas de orbitais vai depender de nossa postura interpretativa.

Na interpretação de David Bohm, ondas e partículas são reais, e não manifestações excludentes da relação entre o objeto e o aparato experimental de uma entidade que é dual, mas cuja ontologia seria inseparável do experimento (interpretação de Copenhagen⁴). A interpretação de Bohm sustenta a produção da imagem da interferência de um fóton (ou elétron) passando por duas fendas (Figura 4).

⁴ Para aprofundamentos, sugerimos Pessoa Junior (2006).

3) *Cultura material do laboratório*

Imagens são produzidas e suas condições de produção se apagam. Quando vemos uma foto, em geral, não pensamos na posição da câmera, no enquadramento, no filtro ou na lente utilizada. Para pensar nisso, é preciso não apenas olhar o que a imagem nos mostra, mas olhar e pensar a própria imagem. Se quisermos reconstituir a não transparência de uma imagem-da-física em função de pensar e perceber a realidade de seu objeto, é preciso colocar em questão, em debate, seus modos de produzir imagens.

Nem todo aparato experimental em física produz imagens ou tem como objetivo a produção experimental de imagens. Os dados coletados podem ser de diversas naturezas. No caso da física de partículas, a produção de imagens é um objetivo intrínseco, o que demanda conhecer esse aspecto específico da cultura de laboratório da física. É nessa direção que encontramos o trabalho de Galison (1997), um detalhado estudo sobre a cultura material da microfísica.

Por cultura material, abordagem da recente historiografia da ciência, entende-se a cultura do laboratório, ou seja, a articulação entre técnicas, instrumentos e arranjos institucionais específicos. As pesquisas em física de altas energias tiveram um papel importante na própria história da institucionalização da física no Brasil, com a criação do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), e com as pesquisas sobre raios cósmicos. Vieira e Videira (2011, p. 2603-7–2603-8) abordam aspectos dessa cultura material no contexto brasileiro e apontam, entre outros aspectos, que,

138

(...) no Brasil, à margem da Big Science e dos grandes aceleradores, com uma física ainda feita por vezes em bancadas, com grupos isolados, aos moldes daquela exercida antes da Segunda Guerra, havia espaço para a contratação – a baixos salários – dessas equipes de microscopistas – geralmente, formadas por mulheres –, emulando basicamente o modelo empregado no Laboratório H. H. Wills, em Bristol, onde trabalhava Powell.⁵

E complementam em nota de rodapé desse parágrafo:

O primeiro fator nos parece ser de cunho financeiro: no CBPF, mulheres recebiam salários mais baixos que os dos homens. Porém, um argumento geralmente apresentado pelos empregadores – no caso, os chefes de laboratório ou das equipes de microscopistas – era o de que as mulheres eram mais pacientes e meticulosas para esse tipo de trabalho. (Vieira; Videira, 2011, p. 2603-8).

Esse modelo de organização do trabalho de laboratório, que parte da cultura material da ciência, e que é atravessado, entre outros aspectos, pela questão de gênero, é detalhado por Galison (1997). A partir do trabalho desse autor, vemos que a produção de imagens no campo da pesquisa em microfísica funde duas diferentes tradições da cultura material do laboratório, uma ligada à produção de imagens num regime de mimetização da forma da natureza, e outra ligada à preservação da

⁵ Cecil Frank Powell, ganhador do prêmio Nobel de física em 1950 por trabalhos relacionados com os mésons, entre eles o méson-pi, ou pión, e com as técnicas de emulsões nucleares, junto ao qual trabalhou e contribuiu Cesar Lattes.

lógica que relaciona os eventos da natureza por meio do uso de computadores. São tradições que, segundo o autor, se fundem na década de 1970.

O uso de computadores, para analisar uma enorme quantidade de dados obtidos por detectores (não mais um evento, mas um conjunto de eventos), alterou a cultura do laboratório. Milhares de dados eram coletados diariamente, sendo necessárias análises estatísticas deles. Unidos a essa nova cultura, os computadores também passaram a produzir as imagens, modificando a tradição visual nos laboratórios e colocando em circulação outras imagens dos objetos, como as das Figuras 8, 10 e 12. Mas uma regularidade se mantém: as imagens criadas ainda exibiam rastros, trajetórias, na mesma formação discursiva, espaço de memória, similares às imagens das câmaras de nuvens.

Compare-se a imagem da Figura 19 com a da Figura 12. Ambas representam o bóson, de Higgs, uma dessas partículas elementares. Aqui há uma relação de transferência metafórica que não passa pela indicialidade.

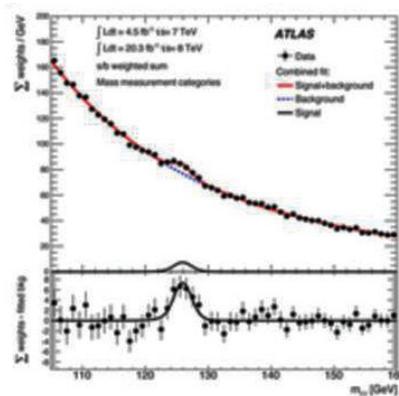


Figura 19 – Gráfico da detecção do candidato de Higgs

Fonte: Atlas Experiment (2014).

Contudo, a prática sobre esses objetos, a experimentação e a detecção deles, compreendidos como partículas elementares, têm condicionantes específicos, diferentes de outros objetos. Nessa escala, os objetos se comportam ora como partículas, com localização espaço-temporal mais ou menos definida, ora como ondas, sem localização espaço-temporal e exibindo comportamentos que só seriam possíveis às ondas, como interferência e difração. A questão da medição/detecção em teoria quântica é fartamente discutida desde sua origem, como podemos ver nas discussões do Congresso de Solvay de 1927.⁶

As imagens desses objetos, mesmo as imagens “fotográficas” (como as das Figuras 1, 5 e 6), estão longe de representar o realismo desses objetos. Ao contrário, sua materialidade, porque inscrita numa história de significação que se confunde com a história da fotografia, da visualidade fotográfica, retoma uma memória que não é mais a da sua significação no contexto da física.

⁶ Para uma discussão conceitual e filosófica, sugerimos Pessoa Junior (2003, 2006).

4) Relações entre texto verbal e imagens

Um dos aspectos desse objeto-imagem-referente-físico diz respeito à relação que as imagens estabelecem com a linguagem verbal e com a matemática. Esta última participa da constituição desses objetos-físicos como discurso (representação e pensamento), por envolver, no mínimo, a equação de Schrödinger, mas não analisaremos tal relação com a matemática, pois estamos pensando na física para o ensino médio, em que o nível matemático é menor. Basta citarmos, a título de aprofundamento para além deste artigo, a análise filosófica e epistemológica que Bachelard (2010) faz do papel dos *operadores* na alteração das noções de espaço e localidade na teoria quântica, ou ainda a noção de *propagadores* nos diagramas de Feynman na QED.⁷

As imagens experimentais, no contexto da produção da ciência, possuem trajetórias de circulação que as transformam, as resignificam e dão realidade ao seu referente. Entre essas trajetórias encontra-se sua alocação em artigos de pesquisa. É o caso da imagem da Figura 13.

Neto e Silva (2017b) apontam pelo menos uma regularidade nesse processo, entre outras possíveis que merecem análises mais detalhadas. Essa regularidade tem dois elementos: 1) as imagens experimentais se deslocam para imagens correlatas, transladando-se do registro fotográfico para outro tipo de registro pictográfico, num menor grau de iconicidade; 2) ambas as imagens vêm acompanhadas de legendas e têm relação com o texto verbal do artigo, revelando relações entre as duas materialidades, a verbal e a imagética.

Entre o texto verbal do artigo e a imagem há uma relação, de um lado, de indicação de uma realidade em que a imagem torna-se ou toma o lugar da referência real do objeto do texto, como se mostrasse do que se fala, apontasse, num gesto de um para-fora, para além do dito/escrito, embora também inscrito no texto, efeito da dupla materialidade referencial. Segundo Latour (2000), isso acontece também com os gráficos. Por outro lado, dada a não transparência dos gráficos, fotografias e outras imagens da realidade de um objeto, fenômeno experimental, não basta a imagem ser a referência do texto verbal. Outro texto indica como ela deve ser lida. Trata-se do texto da legenda. No caso dos artigos sobre partículas elementares selecionados para análise, há uma tripla relação: imagem-imagem (na translação que apontamos anteriormente), imagens-legendas e imagens-texto verbal do artigo.

O objeto-imagem-partícula-elementar se constrói, assim, no cruzamento de duas tradições da cultura científica: a da escritura de certo tipo de texto que tem suas regularidades, já marcadas e estabilizadas institucionalmente, e a da cultura material do laboratório na produção de imagens no campo da microfísica. A referencialidade das imagens de partículas elementares é produzida nesse entrecruzamento das três tecnologias da construção dos fatos científicos: a material, a literária e a social (Shapin, 2013).

⁷ Eletrodinâmica quântica.

Remontemos à historicidade da construção desses objetos-imagens de partículas elementares trazendo alguns enunciados de físicos em debate no início do século 20, quando da construção inicial da teoria quântica.

Os enunciados verbais abaixo foram proferidos em 1927 por físicos reunidos em Solvay, nas famosas conferências que se iniciaram em 1911. Esta teve como tema geral elétrons e fótons. Recortamos trechos em que os debatedores falam explicitamente da câmara de nuvens (câmara de Wilson), o principal aparato instrumental da cultura material de laboratório do campo da microfísica na época.

Sr. Born – Sr. Einstein considerou o seguinte problema. Uma preparação radioativa emite em todas as direções partículas alfa; *faz-se com que estas fiquem visíveis através do método da nuvem de Wilson*. Ora, se se associar a cada processo de emissão uma onda esférica, como se pode compreender que o rastro de cada partícula alfa se mostra como uma linha (mais ou menos) reta? Em outros termos: como o caráter corpuscular do fenômeno pode ser conciliado aqui com a representação por ondas? [251]⁸ Para fazê-lo, deve-se apelar à noção de “redução do pacote de probabilidade” desenvolvida por Heisenberg. A descrição da emissão através de uma onda esférica só é válida durante o tempo em que não se observa ionização alguma; depois que uma semelhante ionização for demonstrada pela aparição de gotículas de nuvem, deve-se, para descrever o que se passa em seguida, “reduzir” o pacote de ondas para a vizinhança imediata dessas gotículas. Obtém-se, assim, um pacote de ondas em forma de raio, que corresponde ao caráter corpuscular do fenômeno.
(...)

Sr. Schrödinger – (...) *A dificuldade principal é a de que o pacote de onda se espalha certamente para todos os lados quando encontra um obstáculo, por exemplo, um átomo*. Sabemos hoje, com os experimentos de interferência de raios catódicos de Davisson e Germer, que esta é uma parte da verdade, enquanto que, por outro lado, *os experimentos de nuvem de Wilson mostraram que deve haver qualquer coisa que continua a descrever uma trajetória bem definida após o encontro do obstáculo*. O compromisso proposto por diferentes lados, que consiste em admitir uma associação de ondas e de elétrons *pontuais*, eu tomo como simplesmente uma forma provisória de resolver a dificuldade. (Pessoa Junior, 2001, p. 141, 171 – grifos nossos).

Esses textos verbais, no contexto de uma controvérsia, no momento histórico de uma teoria que estava em construção, falam de imagens experimentais em que a relação imagem/objeto precisa ser ressignificada. A imagem ainda é dúbia quanto ao objeto que representa. Inscreve-se na memória/leitura/modo de pensar da física clássica, mas aponta para um objeto que não pode mais ser pensado por ela. As imagens indicam locais, posições, trajetórias, enquanto os objetos que elas representam possuem também comportamento ondulatório (não localidade). É interessante notar que a estabilização da teoria sobre esses objetos quânticos, uma partícula elementar, no caso do elétron, deu-se ao longo do século 20, mesmo sem um “acordo” e uma estabilização unívoca da natureza desse objeto ao qual essas (e, posteriormente, outras) imagens se referem. A teoria quântica, no entanto, estabiliza uma ruptura, um corte: dentro dela, o “impensado do pensamento” proíbe que se concebam as entidades referentes das imagens como partículas no sentido da física

⁸ Início da página no documento original.

clássica. Essas entidades, dentro do contexto de controle de sentidos, não podem mais ser pensadas fora da dualidade partícula-onda, mas essa dualidade só apaga os efeitos metafóricos tanto de partículas quanto de ondas, em separado, tal qual na visão/concepção clássica, quando significada e trabalhada no âmbito da linguagem físico-matemática dos operadores. A noção de onda de probabilidade não tem análogo clássico. Temos aí, fundamentada em Palma (2009, p. 17), uma bissociação, ou seja, uma "intersecção de dois planos associativos ou universos de discurso que originalmente são considerados separados e, às vezes, incompatíveis". Os desenvolvimentos conceituais-matemáticos no Congresso de Solvay, e após, produzem o que Palma (2009) chama de literalização diacrônica, que só é possível pela linguagem matemática.

Os diagramas de Feynman (Figura 20), no contexto de outra teoria (QED) relacionada com a significação e a realidade desses objetos da microfísica, em uma linguagem visual diferente da linguagem fotográfica, comportam essa literalização diacrônica (Palma, 2009). Esse tipo de imagens não serve para representar objetos "clássicos". Ali, linhas não são trajetórias, embora os diagramas representem o espaço-tempo. Linhas retas são férmions e linhas onduladas são bósons. Há um deslocamento na rede de memórias. Ambos são dualmente onda-partículas. Também não representam entidades isoladas, mas sempre em interação.

142

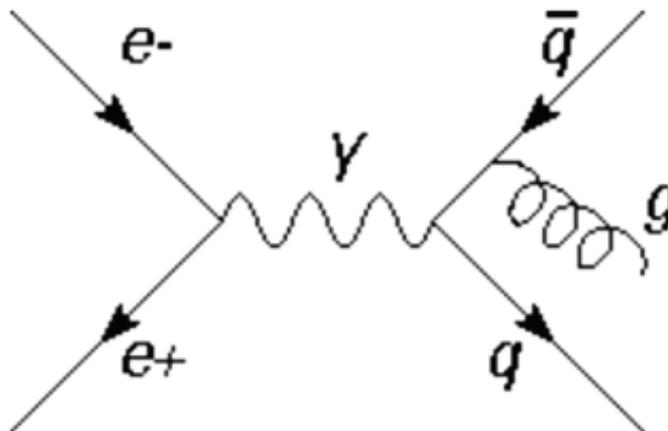


Figura 20 – Diagrama de Feynman da aniquilação elétron-pósitron e criação de dois quarks e emissão de um glúon

Fonte: Radiate gluon (2006).

Porém essas partículas, essas entidades, referentes da pluralidade de imagens sobre as quais refletimos neste trabalho, quando detectadas, só apresentam uma das facetas da dualidade e, assim, a imagem, seja ela qual for, produto de uma detecção, de um experimento, faz retomar a memória bissociativa.

Num contexto de significação em que a linguagem conceitual-matemática se faz presente com mais profundidade, contexto em que sua presença sobrepuja outras linguagens (como numa aula de física quântica para o ensino superior), os processos se afastam da bissociação sincrônica e se aproximam ou são determinados pela

literalização diacrônica (Palma, 2009). Em contextos de significação nos quais essa linguagem não pode estar presente, outras vêm ocupar seu lugar para falar, mostrar, referir-se aos objetos/entidades do discurso. Essas outras linguagens acabam restabelecendo a bissociação sincrônica, e a memória do discurso da concepção de realidade da física clássica passa a ter papel predominante e precisa, portanto, ser trabalhada nas e pelas práticas de ensino.

Considerações finais e implicações

Tendo as imagens, de modo geral, um papel marcante em nossa cultura e, fazendo parte das que circulam sobre ciência, particularmente sobre física – as imagens de partículas elementares como representação do invisível –, torna-se um aspecto muito relevante colocá-las em primeiro plano nos processos educacionais escolares, principalmente se estamos preocupados com uma perspectiva cultural de educação em ciências. Também pesa, nessa necessidade de trabalhá-las explicitamente, superando sua transparência, a dimensão política, que consideramos necessariamente atravessada e investida pelo simbólico, no que ele opera e no que se opera sobre ele em termos de distribuição, controle, tensão, manutenção e imprevisibilidade de suas significações culturais como mediadoras de pensamento e experiência da nossa relação com o mundo.

As imagens não são transparentes porque jamais há correspondência única entre elas e a realidade, entre elas e o que significam. Tais imagens são opacas porque:

- 1) se inscrevem em diferentes formações discursivas, estabelecendo relações de intericonicidade com outras imagens, vistas, imaginadas;
- 2) entre as formações discursivas que lhes dão sentido e as conectam com a realidade, encontram-se modos distintos de pensar a realidade, particularmente aquele associado à concepção de realidade da física clássica e aquele associado à concepção da teoria quântica, marcado pela dualidade partícula-onda. Assim, os acontecimentos discursivos relativos a essas imagens se inscrevem em memórias que podem retomar sentidos já ultrapassados na física contemporânea, no modo como esta concebe esses objetos, entidades, do mundo do muito pequeno (microfísica), da ordem da escala dos átomos e seus componentes e outras entidades, como os fótons;
- 3) seus significados estão ligados à cultura material do laboratório, com suas condições materiais, histórico-sociais e institucionais de produção e circulação;
- 4) um aspecto relacionado à opacidade delas diz respeito às relações que se estabelecem com a linguagem verbal.

A imagem de um objeto produto do conhecimento gerado pela física não é jamais um elemento que isoladamente corresponda a um objeto pela sua

transparência, aos modos de uma *mímesis*. Essa imagem é elemento de uma rede de condições, relações com outras linguagens (a verbal, a matemática e as linguagens pictóricas, como esquemas, diagramas, gráficos), relações com textualidades específicas (como as dos artigos científicos), com práticas institucionalizadas, técnicas e instrumentos que compõem culturas materiais específicas.

Por fim, pensamos que as análises fornecem subsídios para as imagens serem trabalhadas em sua opacidade na sala de aula, como objetos de discurso, como objetos de discussão, de produção de enunciados verbais, de estudo, propiciando práticas de ensino com potencial de conectar os conhecimentos científicos e a própria existência material (social, histórica, cultural e simbólica) e restabelecendo sua opacidade por meio da relação entre o conhecimento e o mundo, da relação entre discurso e conhecimento. Essa outra forma de se posicionar diante das imagens permite colocar as práticas escolares em diálogo com a produção e a dispersão cultural das visualidades da física, com seus deslocamentos, equívocos, enfim, sem se esquivar da materialidade dos discursos (Foucault, 2011).

Referências bibliográficas

ATLAS EXPERIMENT. *Precise measurement of the Higgs boson mass*. 2014. Disponível em: <<https://atlas.cern/updates/physics-briefing/precise-measurement-higgs-boson-mass>>. Acesso em: maio 2018.

BACHELARD, G. *A epistemologia*. Lisboa: Edições 70, 2006.

BACHELARD, G. *A experiências do espaço na física contemporânea*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2010.

BACHELARD, G. *A formação do espírito científico: contribuições para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

CERN COURIER. Genève: European Organization for Nuclear Research, v. 3, n. 2, févr. 1963.

CERN COURIER. Genève: European Organization for Nuclear Research, v. 55, n. 2, mar. 2015.

CERN. *Higgs candidate decaying into two taus in ATLAS detector*. ATLAS 205. 2012. Disponível em: <<http://cds.cern.ch/record/1994460>>. Acesso em: maio 2018.

CICLOTURISMO no lagamar. 2004. Crédito da foto: Jorge Blanquer. Disponível em: <<http://www.clubedecicloturismo.com.br/viagens-1/429-cicloturismo-no-lagamar>>. Acesso em: jan. 2015.

COURTINE, J. *Decifrar o corpo: pensar com Foucault*. Petrópolis: Vozes, 2013.

FLECK, L. *Gênese e desenvolvimento de um fato científico*. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

FOUCAULT, M. *A ordem do discurso*. 21. ed. São Paulo: Loyola, 2011.

GALISON, P. L. *Image and logic: a material culture of microphysics*. Chicago: The University of Chicago, 1997.

GIRELLI, P. S. *Circulação e textualização das nanotecnologias no contexto da agropecuária: subsídios para o ensino de Física*. 2016. 143 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

GRUPEN, C.; SHWARZ, B. *Particle detectors*. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 2008.

HALLYDAY, D. *Fundamentos de física: mecânica*. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v. 1.

KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. 3. ed. São Paulo: Perspectiva, 1995.

LANDSHOFF, P.; JACOB, M. The inner structure of the proton. *Scientific American*, New York, v. 242, n. 3, p. 46-55, Mar. 1980.

LARSON, G. *Contrails 002*. 2005. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Contrails_002.jpg>. Acesso em: dez. 2018.

LATOURET, B. *Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade fora*. São Paulo: Ed. da UNESP, 2000.

LATTES, C. M. G. et al. Processes involving charged mesons. *Nature*, v. 259, p. 694-697, May 24, 1947.

LIMA, J. H. G. *Circulação da ciência: relações entre o discurso referente à ciência e o discurso de autoajuda*. 2017. 117 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

MALDIDIER, D. *A inquietação do discurso*. Campinas: Pontes, 2003.

NETO, J. T. J. *Imagens, conhecimento físico e ensino de partículas elementares: discursos na formação inicial de professores de Física*. 2015. 161 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

NETO, J. T. J.; SILVA, H. C. A textualização da física de partículas em um livro de divulgação científica. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 15., 2014, São Sebastião. *Anais...* São Sebastião: EPEF, 2014.

NETO, J. T. J.; SILVA, H. C. Intericonicidade, regularidade e memória e imagens sobre partículas elementares. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 22., 2017, São Carlos. *Anais...* São Carlos: SNEF, 2017a.

NETO, J. T. J.; SILVA, H. C. Imagens sobre partículas elementares: relações entre a circulação e o âmbito escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, n. extraordinario, p. 3531-3536, 2017b.

ORLANDI, E. P. *Análise de discurso: princípios e procedimentos*. Campinas: Pontes, 1999.

PALMA, H. A. *Metáforas e modelos científicos: a linguagem no ensino de ciências*. São Paulo: Ed. SM, 2009.

PÊCHEUX, M. Papel da memória. In: ACHARD, P. *Papel da memória*. Campinas: Pontes, 1999. p. 49-58.

PÊCHEUX, M. *Semântica e discurso: uma crítica à afirmação do óbvio*. 2. ed. Campinas: Ed. da Unicamp, 1995.

PESSOA JUNIOR, O. Discussão geral das novas ideias formuladas [no] 5º Congresso de Solvay (1927). In: PESSOA JUNIOR, O. (Org.). *Fundamentos da física 2 – Simpósio David Bohm*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2001. p. 139-172. Disponível em: <<http://opessoa.ffe.usp.br/sites/opessoa.ffe.usp.br/files/Solvay-1927.pdf>>. Acesso em: dez. 2018.

PESSOA JUNIOR, O. *Conceitos de física quântica: volume 1*. São Paulo: Livraria da Física, 2003.

PESSOA JUNIOR, O. *Conceitos de física quântica: volume 2*. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

PESSOA JUNIOR, O. A representação pictórica de entidades quântica na química. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, São Paulo, n. 7, p. 25-33, dez. 2007.

PIETROCOLA, M. et al. Unidade 3 – Radiação e matéria. In: PIETROCOLA, M. et al. *Física em contextos*. São Paulo: Ed. do Brasil, 2016. V. 3.

PHOTOGRAPHY AT THE SPEED OF LIFE [Blog]. *Like it in black and white*. 2012. Disponível em: <<https://photosatthespeedoflife.wordpress.com/2012/05/16/i-like-it-in-black-and-white/>>. Acesso em: jun. 2018.

RADIATE gluon. 2006. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Radiate_gluon.png>. Acesso em: jun. 2018.

SHAPIN, S. Bomba e circunstância: a tecnologia literária de Robert Boyle. In: SHAPIN, S. *Nunca pura: estudos históricos de ciência como se fora produzida por pessoas com corpos, situadas no tempo, no espaço, na cultura e na sociedade e que se empenham por credibilidade e autoridade*. Belo Horizonte: Fino Traço, 2013. p. 90-117.

SILVA, H. C. Ciência, política, discurso e texto: circulação e textualização – possibilidades no campo da educação científica e tecnológica. *Ciência & Ensino*, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 72-94, 2014.

SILVA, H. C. *Discursos escolares sobre gravitação newtoniana: textos e imagens na física do ensino médio*. 2002. 233 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de Campinas, Campinas, 2002.

SILVA, H. C. et al. Cautela ao usar imagens em aulas de ciências. *Ciência e Educação*, Bauru, v. 12, n. 2, p. 219-233, 2006.

SILVA, H. C. Lendo imagens na educação científica: construção e realidade. *Pro-Posições*, Campinas, v. 17, n. 1, p. 71-83, jan./abr. 2006.

STERCHI, R. S. The biggest enlargement? *CERN Courier*, Genève, v. 1, n. 10, p. 6-7, mars 1960.

TAYLOR, L. Computer simulation of particle traces from an LHC collision in which Higgs Boson is produced [image]. [2013?]. In: THE NEED for the Higgs. Disponível em: <<http://cms.cern/physics/higgs-boson>>. Acesso em: maio 2018.

VIEIRA, C. L.; VIDEIRA, A. A. P. O papel das emulsões nucleares na institucionalização da pesquisa em física experimental no Brasil. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 2603-1–2603-11, 2011.

WILSON, C. T. R. On an expansion apparatus for making visible the tracks of ionising particles in gases and some results obtained by its uses. *Proceedings of the Royal Society of London A*, v. 87, n. 595, p. 277-292 + Plates 6-9, 1912. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rspa.1912.0081>>. Acesso em: dez. 2018.

YOUNG, H. D.; FRIEDMAN, R. A. *Física III: eletromagnetismo*. 12. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2009.

Henrique César da Silva, licenciado em Física pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), mestre e doutor em Educação pela mesma universidade, é professor adjunto do Departamento de Metodologia de Ensino da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica (PPGECT) dessa universidade e líder do grupo Fluxo: Circulação e Textualização da Ciência e Educação Científica.

henrique.c.silva@ufsc.br

Jonathan Thomas de Jesus Neto, licenciado em Física pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UESC), mestre e doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica dessa universidade, é membro do grupo Fluxo: Circulação e Textualização da Ciência e Educação Científica.

jonathantjneto@gmail.com

Recebido em 2 de julho de 2018

Aprovado em 21 de setembro de 2018