

SCIENTIÆ studia, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 409-33, 2016



# Além das nuvens e dos relógios: a percepção da realidade em David Bohm

Rodrigo FRANÇA CARVALHO



## RESUMO

Neste artigo, apresentamos e debatemos um aspecto específico da visão científica do físico quântico David Bohm (1917-1992) acerca da realidade. Em nosso debate, pretendemos mostrar que essa visão é alicerçada na transcendência da dicotomia determinismo-indeterminismo. Por meio de algumas de suas teorias, tais como a teoria do plasma, a interpretação ontológica da teoria quântica e o programa científico da totalidade, da ordem implícita e da ordem explícita, procuramos defender a ideia de que a visão de Bohm é que a realidade é um processo situado além das “nuvens e dos relógios”, expressão que tomamos de empréstimo do filósofo da ciência Karl Popper (1902-1994). Dessa forma, tal perspectiva abre espaço para a compreensão de que a criatividade e a liberdade estão no cerne da natureza e da realidade como um todo.

**PALAVRAS-CHAVE** • Bohm. Popper. Nuvens. Relógios. Plasma. Criatividade. Liberdade. Determinismo. Indeterminismo. Teoria quântica.

## INTRODUÇÃO

Com base na visão científica e na perspectiva filosófica do físico quântico estadunidense David Bohm (1917-1992),<sup>1</sup> analisamos, neste artigo, sua percepção acerca da realidade, almejando demonstrar que essa percepção está alicerçada em uma visão que transcende a dicotomia tradicional e predominante na história da ciência do par de opostos determinismo e indeterminismo. Com esse objetivo, debatemos aspectos específicos das abordagens teóricas de Bohm a fim de indicar como sua trajetória intelectual permitiu formular uma nova perspectiva científica capaz de romper com a rigidez dessa dicotomia.

<sup>1</sup> Durante certo período de sua vida, Bohm esteve imbuído de uma visão comunista, estando brevemente ligado ao partido comunista nos Estados Unidos. Devido às perseguições políticas macarthistas, realizadas na fase da Guerra Fria, Bohm veio para o Brasil, onde foi professor na Universidade de São Paulo, durante o período de 1951-1955. No ano de 1954, ele obteve a cidadania brasileira (cf. Freire, 2001, p. 38-9). Em 5 de dezembro de 1956, Bohm perdeu a sua cidadania estadunidense, reavendo-a somente trinta anos depois, em 1986 (cf. Freire, 2015, p. 57).

Temos a necessidade, antes de aprofundarmos nosso debate, de tecer uma sucinta consideração sobre a expressão “além das nuvens e dos relógios” do título de nosso artigo. Trata-se de uma declarada paráfrase que faz referência a um ensaio do filósofo da ciência austríaco Karl Popper (1965), que, mais tarde, inserido no livro *Conhecimento objetivo: uma abordagem evolucionária* (1975). Por meio da linguagem metafórica, Popper reporta-nos a uma imagem para representar o indeterminismo e o determinismo. Pela relação de similitude, a nuvem simboliza a ordem aleatória, o caos, a imprevisibilidade, ou seja, o âmbito do indeterminismo. Já o relógio, por suas características inerentes de engrenagem de uma máquina, simboliza a ordem mecanicista, a causalidade reducionista que remete ao controle, o previsível, ou seja, o âmbito do determinismo.

Essa imagem traz em si um panorama que permeia boa parte da história da ciência, mas essa visão dicotômica, criticada por Popper, é insuficiente e inadequada, como apresentaremos e debateremos ao longo do artigo. Nem todos os relógios são precisos e perfeitos; na verdade, não há nenhum que seja. Como o próprio Popper (1975, p. 198) ressaltou, analisando o pensamento e a obra do matemático e físico estadunidense Charles Sanders Peirce (1839-1914), as medições e as denominadas constantes físicas não são absolutamente exatas nem constantes, o que evoca a noção de que não há um determinismo absoluto. Como veremos, com base na reflexão sobre a obra de Bohm, a nuvem, sistema aleatório e caótico, não é totalmente desordenada, ela possui uma ordem sutil, o que significa dizer que não há um indeterminismo absoluto.

Entretanto, destacamos que Bohm propôs um ponto de vista científico que não elimina o determinismo nem o indeterminismo, mas os relaciona em suas possíveis conexões e alternâncias. Ao fazer isso, transcende as perspectivas usualmente reducionistas que enrijecem nossa compreensão sobre certos aspectos da natureza: ou os fenômenos da natureza são totalmente determinados ou são predominantemente indeterminados. Em conformidade com a visão científica de Bohm e com sua respectiva percepção da realidade, determinismo e indeterminismo são conceitos voltados para uma abordagem de uma realidade complexa, multidimensional e multifacetada que não pode ser isolada de forma mecanicista e absoluta, mas apenas de maneira relativa, em determinados contextos dos quais tais conceitos poderão ser abstraídos.

Os fenômenos naturais podem ser entendidos racionalmente como flutuantes entre esses dois polos conceituais. Nada é apenas determinado e determinista, e nada é apenas indeterminado e indeterminista, a não ser como abstração. A natureza efetiva-se de modo a mesclar esses dois polos e, por isso, está além deles. Entretanto, a percepção dos cientistas dos fenômenos nem sempre levou em consideração essa relação. No século XIX, por exemplo, em razão do êxito da física clássica, era recorrente, na comunidade científica, acreditar que o universo era determinado e que, no futuro, seríamos capazes de prever com exata precisão os eventos da natureza. No século XX,

principalmente por causa de determinadas abordagens da teoria quântica, a mesa foi virada e passou-se a crer que o indeterminismo imperava no universo. Em nossa análise, a visão decorrente da percepção bohmiana da realidade aponta para a superação dessa dicotomia, o que abre espaço para uma concepção da natureza na qual a criatividade e a liberdade são fundamentais. Essa perspectiva já se delineia com a sua teoria do plasma, avança com a sua interpretação da teoria quântica, conhecida como causal, e desenvolve-se com o seu programa científico da totalidade e da ordem implícita e explícita.

## 1 A TEORIA DO PLASMA: A QUESTÃO DA LIBERDADE SE EVIDENCIA PARA BOHM

As pesquisas de Bohm contribuíram efetivamente para fundamentar as bases da moderna teoria do plasma, que é uma espécie de gás denso de elétrons que apresenta um comportamento radicalmente diferente do comportamento do estado normal da matéria. Em seus primeiros artigos sobre o plasma, Bohm se mostrava interessado em saber de que forma os elétrons, como partículas livres, podiam coordenar seus movimentos. Essa combinação de coletivismo com liberdade individual exerceu sobre ele um forte apelo, uma vez que apontava para um aspecto criativo e livre da natureza sem, no entanto, impedir um movimento coletivo e ordenado por parte dela.

elétrons no plasma (...) organizam-se para dirigir uma ação coletiva. Eles são praticamente partículas livres, independentes uns dos outros, mas como resultado de sutis interações dentro de um vasto grupo, eles desenvolvem padrões de movimentos coerentes organizados. Como exatamente eles fazem isso tornou-se o tópico de cálculos matemáticos de Bohm por cerca de 10 anos (1948-1958) (Kojevnikov, 2002, p. 170).

Bohm via no plasma uma analogia com o problema individual e social. No plasma, tem-se aquilo que é denominado por Bohm de “comportamento coletivo”, que corresponde ao estado no qual os elétrons se movem juntos e produzem um campo elétrico de modo coerente, realizando um movimento coletivo e organizado a despeito das bases aleatórias dos elétrons. Ou seja, temos o comportamento ordenado, determinado – coletivo – em intrínseca relação com o aleatório, o indeterminado – a “liberdade individual” – dos elétrons. De acordo com o historiador da ciência russo Alexei Kojevnikov (cf. 2002, p. 171), na perspectiva bohmiana, o movimento autossustentável realizado por elétrons livres representa um modelo de sociedade, na qual ele pretendia entender a relação individual e social. “Bohm estava motivado pelo desejo de en-

tender física e matematicamente como um grupo de indivíduos livres pode desenvolver padrões de coordenação e de comportamento organizado” (Kojevnikov, 2002, p. 178). O plasma foi um meio para investigar a questão da liberdade.

Os meus conhecimentos provieram da percepção de que o plasma é um sistema altamente organizado, que se comporta como um todo. De fato, em alguns aspectos é quase como um ser vivo, e fascinava-me o problema de saber como esse comportamento coletivo e organizado ajustava-se à liberdade de movimento quase completa dos elétrons individuais (Bohm & Peat, 1989, p. 12).

Posteriormente, a teoria do plasma foi estendida aos metais,<sup>2</sup> o que contribuiu para a constituição da física do estado sólido (cf. Bohm & Peat, 1989; Peat, 1997; Weber, 1991).<sup>3</sup> De modo geral, um plasma parece ser uma série de oscilações coletivas, envolvendo um número astronômico de partículas. Bohm foi capaz de criar uma dupla descrição matemática: uma delas (coordenadas coletivas) trata das vibrações coletivas, enquanto a outra (coordenadas individuais) explica o movimento livre individual. As duas descrições são parte de um todo. O movimento coletivo – determinado – está envolvido no movimento individual – indeterminado – e vice-versa. Conforme mencionou Peat (1997, p. 67-8), em uma analogia, uma pessoa pode sentir-se relativamente livre, ainda que influenciada pela percepção, pelo senso comum, pelos valores globais da sociedade. Uma vez que os indivíduos respondem aos significados compartilhados, a sociedade como um todo é capaz de manter essa estrutura complexa.

(...) sociedades humanas, assim como os plasmas, são uma síntese de opostos, permitindo para ambos a liberdade do indivíduo e o coletivismo do todo. Tecnicamente falando, Bohm foi capaz de mostrar por que os plasmas se tornam estáveis em um campo magnético externo. Seu tratamento teórico de difusão em um plasma turbulento tornou-se conhecido como difusão de Bohm (Peat, 1997, p. 68).

Prolongando um pouco mais a analogia suscitada pela teoria do plasma, percebemos a sua implicação, em paralelo, sobre a nossa relação com o mundo. A maneira

<sup>2</sup> Em seu trabalho inicial, com o físico Eugene Gross (1926-1991), Bohm usou uma abordagem da física clássica. Posteriormente, com o físico estadunidense David Pines, a investigação do plasma passou a ser conduzida do ponto de vista teórico da mecânica quântica (cf. Peat, 1997, p. 81).

<sup>3</sup> A física dos estados sólidos abrange o estudo das propriedades da matéria em temperaturas extremamente baixas (cf. Weber, 1991, p. 43-4). Sublinhamos que, no capítulo, o físico alemão Christian Joas afirmou que a física do estado sólido, a física nuclear e a física de partículas elementares “são profundamente emaranhadas, tanto em seus respectivos desenvolvimentos históricos, quanto conceituais” (Joas, 2010, p. 108).

como olhamos o mundo determina como agimos nele, como estruturamos nossa sociedade e como encaramos nossa vida. Igualmente, a sociedade na qual vivemos condiciona nossos valores e nosso modo de pensar e de perceber o mundo (cf. Peat, 1997, p. 68). Parece-nos evidente que essas implicações foram importantes para nutrir as questões filosóficas inerentes ao trabalho de Bohm, motivando-o a buscar a compreensão do que subjaz à realidade.

Consideramos que a teoria do plasma possibilitou a Bohm a percepção de um sistema altamente organizado e complexo, o qual evidencia um comportamento coletivo e coerente que se ajusta, com harmonia, à liberdade de movimento quase completa dos elétrons individuais. Está implícito nessa relação entre a parte e o todo o que defendemos em nosso artigo: uma nova percepção da realidade e da ciência que vai além das nuvens e dos relógios, do indeterminismo e do determinismo. Os elétrons são livres – indeterminados –, mas, ao mesmo tempo, são coletivos, organizados em movimentos coerentes, executados com precisão e, portanto, determinados. Essa percepção amadurecerá em Bohm nas décadas seguintes, mas já denota um avanço na superação da dicotomia nuvem-relógio.

## 2 A INTERPRETAÇÃO BOHMIANA DA TEORIA QUÂNTICA E O FATOR DETERMINISMO-INDETERMINISMO

Bohm foi um dos físicos que elaborou uma interpretação alternativa ao modelo padrão da teoria quântica, modelo esse conhecido como interpretação/escola de Copenhague. Defendemos neste artigo que a evolução – no sentido de transformação – da perspectiva teórica quântica de Bohm contribuiu para uma visão da realidade além da dicotomia determinismo-indeterminismo. Com o intuito de analisar o modo como sua interpretação alternativa evoluiu e pode ser vista como a base de concepção de uma realidade que transcende as “nuvens” e os “relógios”, apresentaremos, inicialmente, de forma sucinta, algumas considerações sobre as diferenças básicas entre a abordagem de Bohm da teoria quântica e a interpretação de Copenhague.

As bases que deram origem ao desenvolvimento da teoria quântica podem ser remontadas a partir das pesquisas de vários cientistas: os estudos do físico alemão Max Planck (1858-1947) sobre a radiação eletromagnética emitida por um “corpo negro”;<sup>4</sup> a interpretação do “efeito fotoelétrico” de Albert Einstein (1879-1955), que lhe pro-

4 Conforme o físico Ben-Dov, na física, “dá-se o nome de ‘corpo negro’ a um corpo que absorve todas as radiações que recebe” (1996, p. 129). As radiações absorvidas elevam a temperatura do corpo, que emite em troca uma radiação eletromagnética crescente.

porcionou o prêmio Nobel de física, em 1922; o modelo atômico do físico e químico neozelandês, Ernest Rutherford (1871-1937);<sup>5</sup> o modelo atômico do físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962);<sup>6</sup> o efeito Compton;<sup>7</sup> os estudos de Louis de Broglie de 1924,<sup>8</sup> entre outros. Foi durante os anos de 1925-1926 que tivemos duas propostas de versões para uma teoria fundamental que, posteriormente, foi denominada de “nova teoria quântica” (Ben-Dov, 1996, p. 133). Essas duas propostas correspondem à mecânica das matrizes do físico alemão Heisenberg e à mecânica ondulatória do físico teórico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) (cf. Ben-Dov, 1996, p. 134-5).

Vários físicos reuniram-se, em 1927, no quinto congresso de Solvay, em Bruxelas, para debater o estatuto da nova teoria quântica. Havia um reconhecimento por parte dos físicos de que as versões de Heisenberg e de Schrödinger forneciam as mesmas grandezas medidas experimentalmente. Entretanto, os fundamentos conceituais da nova teoria permaneciam obscuros. De acordo com o físico Yoav Ben-Dov (cf. 1996, p. 137), questões pertinentes continuavam sem respostas. Como uma mesma entidade física – a luz ou a matéria – podia comportar-se ora como uma onda, ora como uma partícula? Essa dualidade onda-corpúsculo parecia incompreensível naquele momento. Além disso, quais eram os significados das relações de incerteza de Heisenberg? Como interpretar a limitação da teoria às predições estatísticas? Ou ainda, qual é o significado dos processos de medida na definição das grandezas físicas? Essas e outras questões vieram à tona e estavam no centro dos debates em Solvay.

Para os participantes do congresso, a questão preponderante era saber se convinha aceitar uma teoria científica que fornecia predições corretas, mas sem clareza em seus fundamentos conceituais. Naquela ocasião, o posicionamento de Bohr foi decisivo e seguido por muitos outros físicos, dando sustentação a uma interpretação que será, nos anos seguintes, o padrão/usual da teoria quântica. Essa interpretação, como mencionamos, foi também denominada pela expressão “escola de Copenhague” da mecânica quântica, expressão essa introduzida, provavelmente pela primeira vez, por Heisenberg, na ocasião da celebração dos 70 anos de Bohr, e é, certamente, “uma alusão à enorme influência que Bohr, seus colegas e alunos exerceram na formulação daquela que acabou se tornando a interpretação oficial da mecânica quântica” (Pinto Neto, 2010, p. 7).

<sup>5</sup> Em 1911, Ernest Rutherford afirmou que o átomo é formado de um núcleo que contém o essencial de sua massa, ao redor do qual gravitam elétrons, à maneira dos planetas em torno do Sol (cf. Ben-Dov, 1996, p. 131).

<sup>6</sup> Em 1913, Bohr demonstrou que os elétrons se movem em órbitas particulares e discretas.

<sup>7</sup> Em 1923, o físico estadunidense Arthur Compton (1892-1962) mostrou que, em sua interação com elétrons, um feixe luminoso comporta-se como um conjunto de partículas individuais desviadas por suas colisões com os elétrons, contribuindo para a visão dualista (onda-partícula) de Einstein sobre a luz (cf. Ben-Dov, 1996, p. 131).

<sup>8</sup> Filho de nobres franceses, o físico francês Louis de Broglie (1892-1987) mostrou em suas pesquisas que se deveria associar uma onda ao movimento de cada partícula atômica (cf. Ben-Dov, 1996, p. 132; Ribeiro Filho, 2000, p. 80).

O posicionamento de Bohr, que mencionamos anteriormente e que é a base da interpretação de Copenhague, configura-se no seguinte quadro, denominado de princípio da complementaridade, segundo o qual nenhuma experiência é capaz de medir simultaneamente e com precisão absoluta a posição e o momento – velocidade  $\times$  massa – do elétron, assim como tampouco nenhuma experiência na qual um elétron se comporte simultaneamente como uma onda e como um corpúsculo. O comportamento de um sistema quântico e sua descrição dependem da experiência realizada, e o quadro conceitual da linguagem humana não permite perguntar qual é, fora do contexto de uma experiência específica, o comportamento “em si” do sistema. Um dos desdobramentos dessa perspectiva é o de que não podemos descrever a realidade física “em si”. Podemos descrever corretamente as experiências que realizamos para descobri-la e as suas conclusões (cf. Ben-Dov, 1996, p. 139). Logo, de acordo com a complementaridade, as palavras “partícula” e “onda” não designam objetos materiais nem suas propriedades. Elas não possuem “*status* ontológico, mas apenas empírico, pois são tão somente entidades que entram na descrição de certos experimentos” (Bunge, 2001, p. 235).

Diante do cenário configurado até aqui, podemos perceber que a interpretação de Copenhague possui fundamentos filosóficos e epistemológicos do positivismo e do idealismo (cf. Ben-Dov, 1996; Bunge, 2000; Pinto Neto, 2010). Para os positivistas, a única forma segura – “positiva” – de adquirir o conhecimento é por meio do método científico, ou seja, as afirmações, os conceitos, as hipóteses que não podem ser verificadas pela observação experimental não fazem o menor sentido. Para os idealistas, é a consciência que determina a existência das coisas.

Chegamos, assim, a uma situação que foi muito bem pontuada pelo filósofo da ciência Michel Paty (2010). Tornou-se habitual para o público em geral, para os filósofos e também para muitos físicos a impressão de que a física quântica é totalmente construída pelo pensamento. Na mecânica quântica, falamos de preparação de estado, de teoria da medição, de intervenção irreduzível do observador sobre o objeto observado. Isso dá origem, inevitavelmente, à questão de querer saber se “os conceitos científicos (para nós, os da física, mais especificamente, os da física quântica) correspondem a uma realidade objetiva ou a qualquer realidade que se possa qualificar de objetiva” (Paty, 2010, p. 155).

Reconhecer as bases filosóficas e também epistemológicas da interpretação de Copenhague é ter, como pura verdade, que as observações devem ser aceitas por seu valor aparente e “toda tentativa de analisá-las e entendê-las é proibida para sempre” (Bunge, 2000, p. 243). Entretanto, vários físicos não se satisfizeram com esse esquema (cf. Pinto Neto, 2010, p. 17). Nesse contexto, Bohm aparecerá como defensor de uma alternativa para a interpretação padrão da teoria quântica.

O indeterminismo e a impossibilidade de falar com propriedade sobre algo real independente da observação experimental são dois pilares que sustentam o edifício da Interpretação de Copenhague. Os princípios da incerteza e da complementaridade, base da interpretação padrão, tiveram implicações filosóficas na ciência que também atingiram a noção de causalidade, tendo em vista que se adotou a perspectiva de que os fenômenos subatômicos não poderiam ser explicados pelo seu desdobramento em causas e efeitos. Foi apenas com Bohm, em 1952, que se conseguiu articular uma interpretação causal da física quântica (cf. Silveira; Ribeiro Filho & Silva, 2010, p. 324).

Bohm escreveu dois artigos em que apresenta a sua interpretação da teoria quântica, que depois ele mesmo chamará de causal (cf. Bohm, 1952a, 166-79; 1952b, 180-93).<sup>9</sup> A interpretação de Bohm colocou em questão o consenso de boa parte da comunidade científica do período em relação à interpretação padrão da teoria quântica (cf. Freire., 2001, p. 36). Mesmo mudando, posteriormente, a sua visão sobre a sua própria interpretação, Bohm mostrou, no início da década de 1950, que era possível criar uma alternativa consistente para a teoria quântica (cf. Peat, 1997, p. 115).<sup>10</sup>

No modelo inicial da interpretação causal, objetos microscópicos, como elétrons, eram sempre descritos como partículas que possuíam trajetórias bem definidas; o que a versão probabilística da teoria quântica descarta (cf. Freire, 2001, p. 36). Na sua forma inicial, a interpretação causal da teoria partia da suposição de que o elétron, ou qualquer outra partícula elementar, é uma certa espécie de estrutura objetivamente real que se deslocava segundo uma trajetória causalmente determinada (cf. Heisenberg, 1995, p. 100).<sup>11</sup> Em vez das partículas da física newtoniana, o elétron é inseparável de determinado campo quântico que o afeta de modo fundamental e apresenta algumas propriedades novas. Esse campo quântico “satisfaz a equação de Schrödinger, tal como o campo eletromagnético satisfaz as equações de Maxwell. Ele, portanto, é também causalmente determinado” (Bohm & Peat, 1989, p. 121).

<sup>9</sup> De fato, “Bohm não usou a expressão ‘interpretação causal’ em seus primeiros artigos de 1952. Ele a usou em seu trabalho posterior, ao reagir às críticas feitas por Otto Halpern” (Freire, 2010, p. 403). Otto Halpern (1899-1982) foi um físico teórico austríaco.

<sup>10</sup> De acordo com o físico teórico e filósofo da ciência estadunidense James Thomas Cushing (1937-2002), uma teoria científica pode ser vista como composta por dois componentes distintos: o formalismo e a interpretação. Esses componentes podem ser conceitualmente separáveis, mas, na prática, estão emaranhados. Tanto a mecânica quântica como a versão de Bohm utilizaram o mesmo conjunto de regras de cálculos e conjunto de equações para prever os valores observáveis. Já a interpretação física que se refere ao que a teoria nos conta a respeito da estrutura subjacente a esses fenômenos é bem diferente. Dessa forma, afirmou Cushing, “um formalismo com duas interpretações conta como *duas* teorias diferentes” (2000, p. 5).

<sup>11</sup> Posteriormente, conforme Bohm e Peat (cf. 1989, p. 121), a teoria assumiu uma forma *quantificada*, abandonando essa imagem de partícula.

Destacamos que a causalidade é defendida por Bohm – porém, sem a abordagem reducionista que normalmente se atribui a essa propriedade – e que ela correspondia, de forma análoga, também a sua visão ideológica marxista. Bohm acreditava que as pessoas poderiam ser impelidas a construir uma ordem na sociedade humana de um modo mais racional, se elas pudessem entender que a causalidade opera no nível atômico, mas não de forma mecanicista (cf. Peat, 1997, p. 113). Havia em Bohm, a convicção de que a ciência nunca poderia ser um conhecimento puramente abstrato. Ela tem sempre uma implicação política e social. Ele tinha a convicção de que as teorias científicas poderiam mudar, ao longo do tempo, o pensamento das pessoas sobre a sociedade (cf. Forstner, 2008, p. 217).

Tornou-se evidente no conceito de causalidade de Bohm, a forte ligação entre física, visão de mundo e sociedade. Esse conceito contém dois aspectos fundamentais: a predição dos efeitos é possível, se soubermos suas causas, e a mudança de causas leva a uma previsível mudança de efeitos. Do ponto de vista de Bohm, a possibilidade de mudança era essencialmente diferente de um simples determinismo, que permite somente predições, mas não mudanças (cf. Forstner, 2005, p. 8). Ressaltamos que estamos tão habituados, ainda hoje, com a linguagem clássica da física que, quando falamos de causalidade, nos vem à mente a imagem de algo absolutamente determinado e fixo. Não percebemos as implicações dos dois aspectos apresentados. Não enxergamos a causalidade como mudança e como algo além do determinismo e, dificilmente, percebemos que o determinismo pode não ser totalmente determinado – ele possui validade restrita –, uma vez que, com base nessa visão, a causalidade pode engendrar a mudança.

A interpretação causal de Bohm não foi bem aceita pela comunidade de cientistas do período, que a considerou como uma controvérsia restrita ao campo filosófico. O posicionamento crítico de Bohm em relação à interpretação de Copenhague permaneceu inabalável. No entanto, já em meados dos anos de 1950, Bohm sinalizou uma mudança em sua própria interpretação. Ele percebeu que sua reformulação inicial da teoria quântica deveria ser revisada de uma perspectiva mais madura, com base na visão dialética, influenciada pela filosofia de Hegel (1770-1831). Ele viu que a “necessidade” é o que não pode ser de outra maneira, porque representa aspectos que são essenciais e inerentes à existência das próprias coisas, enquanto que a “contingência” é o que pode ser de outro modo (cf. Bohm, 1959, p. 12). Entretanto, ele percebeu que a própria física move-se por meio de um processo dialético no qual o que parece ser a necessidade absoluta em um nível, quando visto de um contexto mais amplo, pode ser o resultado de uma contingência.

A filosofia de Hegel apresentou ressonâncias muito enriquecedoras para Bohm, que estava imerso no mundo das questões quânticas, da inseparabilidade entre observador e observado, das possibilidades de uma interpretação que fosse mais coerente e

que pudesse estabelecer uma inteligibilidade em relação à realidade. A visão hegeliana estava alicerçada na convicção de que “não se pode entender nenhuma porção do mundo, a menos que a vejamos no contexto do universo como um todo” (Russel, 2001, p. 363). Isso deu novo alento para as ideias e as pesquisas de Bohm. Como exemplo, segundo Peat (cf. 1997, p. 157), Bohm, baseado na abordagem de Marx, pensava na oposição entre causalidade e acaso. Com a dialética de Hegel, essa oposição foi superada.

Segundo a perspectiva bohmiana, a necessidade de uma lei causal jamais é absoluta. Ele adverte que “devemos conceber como necessária a lei da natureza somente se fazemos abstração das contingências, essencialmente representativas de fatores independentes, que podem existir fora do campo das coisas às quais são aplicáveis as leis a que nos referimos” (Bohm, 1959, p. 12). Tais contingências poderão conduzir ao acaso. Assim, na visão de Bohm, a necessidade de uma lei da natureza é condicional, pois só é aplicável no grau em que essas contingências podem ser desprezadas; entretanto, toda verdadeira relação causal, que necessariamente se cumpre em um contexto finito, está sujeita a contingências que se originam fora desse próprio contexto (cf. Bohm, 1959, p. 13-4).

Ressaltamos que sua visão sobre a relação causal está alicerçada na convicção de que ela “implica algo mais que uma simples associação regular na qual um conjunto de acontecimentos precede a outro no tempo” (Bohm, 1959, p. 17). A causalidade em Bohm, em vista do que foi anteriormente exposto, refere-se a uma relação que não é mecanicista, pois o universo não é reduzido a objetos separados, que interagem entre si de forma mecânica e fixa. Em sua abordagem, todos os acontecimentos e objetos no universo mostram-se interrelacionados de alguma forma. Por conseguinte, ele ampliou sua perspectiva sobre as leis da natureza, que, segundo ele, incluem as leis causais, as leis do acaso e as leis que relacionam esses dois tipos de leis (cf. Bohm, 1959, p. 14-21).

Conforme a percepção de Bohm, as leis causais levam a diferentes níveis de aproximação da realidade. Cada um desses níveis é determinado por diferentes fatores causais e possuem uma relativa autonomia de qualidade, entidades e relações, que são características de cada nível. As transições entre esses níveis ocorrem na forma de saltos dialéticos. Mudanças graduais quantitativas levam a saltos qualitativos. Esses saltos contradizem, na perspectiva de Bohm, o mecanicismo puro, que admite somente mudanças quantitativas. Bohm colocou contra as qualidades básicas e rígidas e contra as leis puramente quantitativas do mecanicismo um número infinito de propriedades, de qualidades, de sistemas e de níveis. Cada nível singular é determinado causalmente. Ao aceitar os saltos qualitativos entre esses níveis e o conceito central de infinidade da natureza, Bohm estava apto a evitar uma concepção determinista absoluta.

Ainda no campo dos desdobramentos que se relacionam com a interpretação causal, frisamos que Bohm, segundo Peat (cf. 1997, p. 114), continuou a trabalhar, de

forma modificada, em sua teoria, desenvolvendo suas implicações a partir do final da década de 1970 e início da década de 1980. Na verdade, ressaltamos que há um movimento duplo e interligado na construção teórica de Bohm. Da década de 1960 em diante, ele começou a dirigir sua atenção à ordem na física, que era suscitada pela teoria quântica, obtendo alguma ideia de qual seria o processo sugerido pela matemática dessa teoria. A sugestão da matemática da teoria quântica, segundo Bohm (cf. 2011, p. 120-1), é a de um movimento de dobramento e de desdobramento, o que o levou a formular um novo programa científico: o da ordem implícita e explícita.

Bohm (cf. 1991, p. 143) comentou que os modelos da interpretação causal e da ordem implícita estão intimamente relacionados. A partir do final da década de 1970, motivado por alunos e colaboradores, com destaque para Basil Hiley, retomou a sua abordagem de 1952. Porém, seus pressupostos filosóficos e conceituais e os de seus colaboradores mudaram muito desde aquele período. Por exemplo, o potencial quântico não era mais considerado um novo potencial físico. Em vez disso, “foi interpretado como indicação de uma nova ordem, em particular, uma espécie de ‘informação ativa’. A ênfase deixa de ser colocada na causalidade” (Freire, 2011, p. 296). Assim,

a questão do determinismo é, portanto, secundária, enquanto que a principal questão é saber se podemos ter uma concepção adequada da realidade de um sistema quântico, seja esta causal seja estocástica seja de qualquer outra natureza (Bohm & Hiley, 2009, p. 3).

O foco da nova interpretação de Bohm não era a causalidade ou o determinismo. A questão do determinismo não possui um papel preponderante nessa versão, o que, ao nosso ver, já indica a superação da dicotomia determinismo-indeterminismo. A principal questão presente nessa perspectiva é descobrir se é possível ter uma concepção de realidade de um sistema quântico que possa ser coerente. Não importa se causal ou aleatória. Sua principal postura filosófica foi olhar para uma visão ontológica dos fenômenos quânticos, “enquanto que o principal desafio científico permaneceu em como amarrar essa exigência com o trabalho matemático, relacionado com a ideia de uma ordem implícita” (Freire, 2011, p. 297).

Assim como a teoria do plasma já denotava, de forma embrionária, a interpretação causal bohmiana da teoria quântica, ela também apontava para uma nova percepção da dicotomia “nuvem-relógio”. Como apresentamos acima, o conceito de causalidade sofrerá uma evolução qualitativa em Bohm. Esse conceito não é visto como sinônimo de determinismo. Não se trata de uma causalidade nos moldes interpretativos da física newtoniana, posto que Bohm utiliza o conceito de causa juntamente com outros que são estranhos à ciência moderna, como os conceitos de potencial quântico e

de ilocalidade. A relação causal, em sua teoria, está intimamente ligada a sua interpretação realista da teoria quântica, porém essa relação não é estática e ocorre em níveis diferentes, pressupondo mudanças, o que vai além de uma visão determinista e abre espaço para o indeterminismo.

### 3 A REALIDADE ALÉM DAS NUVENS E DOS RELÓGIOS

“Além das nuvens e dos relógios” não é utilizada em nosso artigo como uma mera expressão de efeito. É um apelo à atenção daqueles que não se contentam com as visões explicativas racionais e reducionistas parciais que tomam, paradoxalmente, formas globalizantes e, muitas vezes, totalitárias. Para, de fato, apresentarmos nossa abordagem sobre o aspecto aparentemente dicotômico, sugerido pela imagem da nuvem e do relógio, traçaremos um breve histórico crítico dessas vias de entendimento da natureza.

Popper (1975) apresenta um panorama bem delineado sobre a questão. Esse filósofo da ciência percebeu que a abordagem dos físicos sobre os fenômenos da natureza costuma ser dividida em duas, como forma de representação dos sistemas físicos. Assim, ele elaborou um esquema imaginativo para ilustrar essa situação. Nesse esquema, em um de seus lados, o esquerdo por exemplo, Popper alojou os sistemas físicos que, como os gases, “são altamente irregulares, desordenados e mais ou menos imprevisíveis” (Popper, 1975, p. 194), representando-os pelo substantivo “nuvens”.

Do outro lado desse arranjo imaginário, no caso, o direito, Popper alojou os sistemas físicos que são regulares, ordeiros e de comportamento altamente previsível e os representou recorrendo ao substantivo “relógio”, não um relógio qualquer, mas um que seja de alta precisão (cf. p. 194). Isso feito, podemos vislumbrar, por meio desse esquema, uma boa imagem representativa da dicotomia que afirmamos ter sido superada pela visão científica de Bohm. Popper comentou que o determinismo físico é um conceito que tem como fundamento a pressuposição de que todas as nuvens são relógios (cf. p. 197). Em outras palavras, a visão do determinismo físico impõe a perspectiva de que até mesmo a mais anuviada das nuvens é um relógio.

O determinismo físico que diz que todas as nuvens são relógios dirá também que nossa arrumação de senso comum, com as nuvens à esquerda e os relógios à direita, é enganadora, pois tudo deveria ser colocado na extrema direita. Dirá que, como todo o nosso senso comum, arrumamos as coisas não de acordo com sua natureza, mas de acordo com a nossa ignorância (Popper, 1975, p. 197).

Conforme a abordagem determinista, o arranjo de Popper reflete o fato de conhecermos, com certo detalhe, como funcionam as partes de um relógio, ao passo que também reflete que não temos qualquer conhecimento a respeito da interação pormenorizada das partículas formadoras de uma nuvem ou de um organismo.<sup>12</sup> Dessa forma, de acordo com essa perspectiva, “uma vez tendo obtido conhecimento, descobriremos que nuvens gasosas ou organismos são tão semelhantes a relógios como nosso sistema solar” (p. 197).

O físico e matemático Pierre Simon Laplace (1749-1827) defendia, com entusiasmo, a ideia de que, se conhecermos, em um dado instante, as posições e as velocidades das partículas que compõem um sistema, as equações de Newton possibilitarão a dedução com absoluta certeza dessas posições e dessas velocidades em todo instante do passado ou do futuro (cf. Ben-Dov, 1996, p. 78-9).

Laplace pôde, então, afirmar que, se houvesse uma inteligência dotada de uma capacidade de cálculo infinita e que conhecesse em um instante dado as posições e velocidades de todas as partículas materiais que constituem o universo, ela seria capaz de conhecer com certeza absoluta o estado do universo, em qualquer instante passado ou futuro. Ainda que permaneça teórica, a existência dessa inteligência tem uma importante consequência: torna ilusório nosso sentimento de poder agir livremente sobre o futuro, pois este está totalmente determinado (Ben-Dov, 1996, p. 79).

Como o nosso cérebro é constituído de partículas materiais submetidas a leis físicas, então, chegaríamos à conclusão de que não há lugar para o nosso livre arbítrio. Seria a liberdade, dessa forma, apenas um ideal, uma ilusão? Essa perspectiva de um futuro inexoravelmente fixado em seus pequenos detalhes é designada como *determinismo*. Sendo assim, a visão laplaciana da mecânica newtoniana é inteiramente determinista. O futuro não revela nada que não esteja contido no presente e no passado, ou seja, não há verdadeira diferença entre eles (cf. Ben-Dov, 1996, p. 79).

Indubitavelmente, o êxito da teoria de Newton e da sua interpretação laplaciana foram decisivos para que a visão determinista imperasse. Ela tratava especialmente de planetas, cujos movimentos explicou como causados por algumas leis da natureza bastante simples, e tratava, também, do movimento de balas de canhão e de marés. Porém, “seu imenso sucesso nesses campos virou a cabeça dos físicos; e certamente não sem razão” (Popper, 1975, p. 197).

<sup>12</sup> É preciso ressaltar que, em determinadas situações, no caso de moléculas/átomos de um gás, podemos conhecer tais interações, mas o número de sistemas e de equações impede o cálculo, levando-nos ao uso da estatística.

Com a teoria de Kepler e, principalmente, a de Newton, mostrou-se que os movimentos dos planetas eram previsíveis em detalhes, o que fez muitos cientistas passarem a acreditar que os planetas eram perfeitos relógios.<sup>13</sup> A teoria de Newton não só explicava, com precisão, os movimentos dos planetas e das estrelas, como também explicava, com idêntica precisão, os movimentos dos corpos na Terra. Inquestionavelmente, seu êxito foi surpreendente.

De acordo com Popper, a maioria dos filósofos e dos cientistas pensou que essa teoria explicaria tudo – todos os fenômenos da natureza de que pudéssemos tomar conhecimento –, inclusive a eletricidade, o magnetismo, assim como também os sistemas físicos irregulares, desordenados, imprevisíveis, ou seja, as nuvens. Por conseguinte, “o determinismo físico, a doutrina de que todas as nuvens são relógios, tornou-se a fé dominante” (Popper, 1975, p. 198).

Um dos dissidentes dessa perspectiva do determinismo físico foi Peirce. Obviamente, ele não questionou a teoria de Newton, uma vez que ela em si não é sinônimo de determinismo. Todavia, Peirce, conforme Popper (cf. 1975, p. 198), mostrou que essa teoria, ainda que verdadeira no seu âmbito, não nos dava qualquer razão para acreditar que as nuvens fossem relógios. Com isso, ele indicou que não temos possibilidade de alegar que conhecemos, por experiência, qualquer coisa como um relógio perfeito, nem que ele se aproxima dessa perfeição absoluta que o determinismo físico afirmava existir.

Entre as afirmações de Peirce, ressaltadas por Popper (cf. p. 198-9), estava aquela em que ele constatava não existir nenhuma medição e constante física absoluta, totalmente exata. Assim, mediante essa nova abordagem, conjecturou-se que o mundo não era regido somente pelas estritas leis newtonianas, mas também, por leis do acaso, leis de probabilidade estatística.

Isso fez do mundo um sistema encadeado de nuvens e relógios, de modo que mesmo o melhor relógio, em sua estrutura molecular, mostraria algum grau de anuviamento. Até onde sei, Peirce foi o primeiro físico e filósofo pós-newtoniano que ousou adotar, assim, a concepção de que, até certo grau, todas as nuvens são nuvens; ou, em outras palavras, que só existem nuvens, embora nuvens de graus muito diferentes de anuviamento (Popper, 1975, p. 199).

<sup>13</sup> De acordo com Alexandre Koyré (1892-1964), “o que é radicalmente novo na concepção de mundo de Kepler é a ideia de que o universo, em todas as suas partes, é regido pelas mesmas leis, e por leis de natureza estritamente matemática” (1982, p. 51-2). O universo, segundo ele, é estruturado hierarquicamente e harmoniosamente ordenado. Conforme Koyré, “Kepler soube descobrir as verdadeiras leis dos movimentos planetários. Em compensação, não soube formular as leis do movimento” (1982, p. 52). Para isso, foi necessário Newton.

As opiniões de Peirce foram recebidas com pouco interesse pelos seus contemporâneos e, até mesmo, ignoradas por muitos cientistas. Entretanto, as mesas foram viradas. “O indeterminismo, que até 1927 fora emparelhado com o obscurantismo, tornou-se a moda vigente” (Popper, 1975, p. 199). Nesse ponto, Popper refere-se ao processo de formação teórica da mecânica quântica, principalmente à formulação da interpretação usual da teoria quântica, que teve, a partir da Conferência de Solvay de 1927, uma crescente adesão por parte de inúmeros cientistas. Com a interpretação de Copenhague, o indeterminismo foi se consolidando como arranjo explicativo essencial da natureza.

A respeito disso, Bohm (cf 1992 [1980], p. 121) comentou que vários físicos sugeriram que a tendência do século xx era afastar-se do determinismo, o contrário seria algo inconveniente. Todavia, uma especulação análoga podia ser feita em qualquer período com relação a teorias que então eram bem-sucedidas. Seguindo essa linha de raciocínio, os físicos clássicos do século xix podiam, com justificativa semelhante, afirmar que a tendência de sua época era ir em direção a mais determinismo. No entanto, os eventos futuros não comprovaram a veracidade desse tipo de especulação.

Chegamos ao ponto em que temos duas abordagens em confronto. Uma dicotomia instaurou-se entre os cientistas e, se for levada ao extremo, ela poderá levar a uma visão reducionista dos fenômenos da natureza. Se o determinismo físico for absoluto, então o mundo inteiro “é um relógio que funciona com impecável perfeição, incluindo todas as nuvens, todos os organismos, todos os animais e todos os homens” (Popper, 1975, p. 208). Por outro lado, o indeterminismo físico, que pressupõe que nem todos os eventos físicos são predeterminados com precisão absoluta, em seus detalhes infinitesimais, se levado à categoria absoluta, é realmente mais satisfatório que o determinismo?

Popper chamou o determinismo físico de pesadelo. Assim o fez porque o determinismo considera o mundo inteiro como um verdadeiro autômato e, dessa forma, nada mais somos do que apenas engrenagens. O determinismo físico destrói a ideia de criatividade e reduz à ilusão a concepção de liberdade. Entretanto, em um mundo completamente indeterminista, cujo acaso é total, a criatividade e a liberdade também não possuiriam nenhum significado. Diante de tal dilema, Popper propôs um caminho intermediário entre “o perfeito acaso e o perfeito determinismo, algo intermediário entre nuvens perfeitas e relógios perfeitos” (1975, p. 210). É exatamente neste ponto que gostaríamos de trazer as reflexões teóricas de Bohm, que também apontam para essa perspectiva, apesar de, obviamente, avançar em suas próprias questões, uma vez que subjacente a sua abordagem, existe uma visão de totalidade infinita que vai além das nuvens e dos relógios.

Primeiramente, precisamos esclarecer alguns conceitos importantes para que possamos discorrer com mais clareza a respeito do que disse Bohm sobre o tema. Indubitavelmente, dois conceitos essenciais para o determinismo e para o indeterminismo são, respectivamente, necessidade e acaso. Antes, porém, ressaltamos que não citaremos, aqui, a causalidade como conceito ligado ao determinismo. Isso porque, como muito bem esclareceu Popper, não há nenhuma incompatibilidade entre o indeterminismo e a causalidade; pelo contrário, o indeterminismo “é compatível praticamente com qualquer grau de regularidade que se quiser e, portanto, não acarreta a concepção de que há ‘eventos sem causas’” (1975, p. 203).

Assim, mesmo a fórmula, segundo a qual cada evento físico observável tem uma causa física observável ou mensurável, é ainda compatível com o indeterminismo físico, “simplesmente porque nenhuma medição pode ser infinitamente precisa. (...) a fórmula ‘cada evento tem uma causa’ nada diz a respeito de precisão” (Popper, 1975, p. 203-4). Essa análise ajuda-nos a entender que é, no mínimo, um mal-entendido pensar que a interpretação causal proposta por Bohm é determinista e representa uma volta à perspectiva clássica, uma vez que a causalidade não é condição para a existência do determinismo absoluto. Bohm (cf. 1959, p. 37-8) afirmava que as leis causais dizem respeito às relações de fenômenos estudados em um determinado contexto, mas nada impede que elementos fora do contexto perturbem essas relações.

Dito isso, retomamos a apresentação dos conceitos de necessidade e de acaso. Relembramos que, de acordo com Bohm, a necessidade é aquilo que não pode ser de outro modo, referindo-se ao previsível. Já a palavra acaso, que pode ser também substituída por contingência, com significado de aquilo que pode ser de outra maneira, refere-se à imprevisibilidade (cf. 2005, p. 57-8; 2007, p. 67). No entanto, é importante frisarmos que um processo imprevisível pode ser necessário (apenas não estamos em um contexto que tem acesso a todas as causas determinantes) e que o acaso ou contingência não pode ser reduzido ao rótulo da imprevisibilidade, pois algo imprevisível pode ser determinado (considerando-se um contexto mais amplo). Na física, a necessidade relaciona-se com as leis deterministas. O acaso relaciona-se com as leis probabilistas. Se adotarmos uma visão mecanicista de um ou de outro arranjo, teremos uma dicotomia insolúvel.

(...) os mecanicistas deterministas consideram que o acaso é completa e perfeitamente redutível a um reflexo aproximado e puramente passivo de lei determinista. Por outro lado, os mecanicistas indeterministas (...) consideram que a lei determinista é completa e perfeitamente redutível a um reflexo aproximado e puramente passivo das relações probabilistas associadas com as leis do acaso (Bohm, 1959, p. 100).

Bohm trouxe à tona a característica por ele denominada de mecanicista tanto da abordagem determinista quanto da indeterminista. O que há em comum entre os físicos clássicos e os físicos contemporâneos “é a tendência a atribuir um caráter absoluto e definitivo às características gerais da teoria mais fundamental que se encontra em vigor na época em que trabalham” (p. 154-5). Assim, pela análise bohmiana, a interpretação usual da teoria quântica – simbolizada pelo indeterminismo – é, em certo sentido, uma continuação natural da atitude mecanicista dos físicos clássicos, “adequadamente ajustada para levar em conta o fato de que a mais fundamental das teorias atuais é probabilista e não determinista” (p. 155).

Entre o final de 1960 e o início de 1970, Bohm desenvolveu seu novo programa científico, com enfoque especial na ordem. Essa perspectiva foi apresentada ao público geral no livro *A totalidade e a ordem implicada – uma nova percepção da realidade*, publicado em 1980. Porém, em várias palestras e artigos, Bohm já comentava a sua nova visão da natureza. Ele sentia que precisava entender a realidade de todo o processo dessa nova ordem e que as formulações predominantes da mecânica quântica, por exemplo, não davam nenhum sinal ou noção do que estava acontecendo em relação a essas implicações. A teoria quântica somente tratava dos resultados de medições e de observações, pelos quais se computa a probabilidade de outra observação sem qualquer noção de como elas estão relacionadas, exceto de forma estatística. Bohm buscou dar uma ideia de qual seria o processo dessa ordem sugerido pela matemática da teoria quântica, chamando-a de envolvimento.

A matemática em si sugere um movimento no qual tudo, qualquer elemento do espaço, pode ter um campo que se expande para o todo e ao qual o todo se integra. O holograma seria um exemplo disso. Em uma fotografia comum, temos correspondência ponto a ponto. Cada ponto do objeto corresponde a um ponto na imagem, mais ou menos. Em um holograma, todo o objeto está contido em cada ponto, envolvido como um padrão de ondas, que então podem ser desdobradas por luzes brilhantes (Bohm, 2011, p. 120).

Isso significa que a sugestão da matemática da teoria quântica é a de que ela descreve um movimento de ondas que se dobram e se desdobram no espaço. Podemos, então, dizer que tudo está envolto/dobrado nesse todo, ou mesmo em cada parte, e, então, ele se desdobra. Bohm chamou isso de ordem implícita, a ordem implicada/envolvida, e isso se desdobra em uma ordem explícita ou explicada. A implícita é a ordem envolvida, que se expande na ordem explícita, na qual tudo parece ser separado; assim, quando, por exemplo, *aposição* de um elétron está explícita, o *momento* está im-

plicito. Bohm considerou esse movimento de dobramento e desdobramento como o nível básico sugerido pela teoria quântica.

De acordo com Bohm, a melhor analogia para ilustrar a ordem implícita é o holograma (cf. 2011, p. 121). Na holografia, o registro fotográfico é realizado por raios *laser* e não se assemelha ao objeto retratado, configurando uma imagem formada por um padrão de franjas de interferência. Porém, cada parte do registro contém informação advinda do objeto inteiro. Quando aplicamos luz *laser* semelhante, iluminando a chapa, as ondas luminosas por ela devolvidas assemelham-se às que vieram originalmente do objeto, possibilitando vê-lo em três dimensões. Mesmo iluminando somente uma porção da chapa, uma imagem de todo o objeto é obtida, uma vez que a luz de cada ponto desse objeto impressionará cada ponto do registro (cf. Bohm & Peat, 1989, p. 230-1).

Dessa forma, cada parte do holograma contém alguma informação sobre o objeto que está envolto. No caso da fotografia normal, ela seria a analogia que ilustra a ordem explícita, em que cada ponto da imagem corresponde a um ponto do objeto (cf. Bohm, 2011, p. 121). Apesar de adotar o holograma como analogia, Bohm considerou o modelo holográfico simplista, porque ele acata a ordem implícita, mas não leva em consideração que ela se auto-organiza, em movimento, evidenciando apenas o aspecto do reflexo de uma ordem (cf. 1991, p. 60).

Segundo a teoria de Bohm, existe no universo um movimento infinito de dobramento e de desdobramento. A ordem implícita, ao contrário da ordem cartesiana – base da física newtoniana –, não pode ser entendida em termos de um arranjo regular de *objetos* (por exemplo, enfileirados, em sequência) ou de um arranjo regular de *eventos* (por exemplo, em uma série). Em vez disso, ela deve ser percebida e entendida como uma ordem total que está, em um sentido implícito, contida em cada região do espaço e tempo (cf. Bohm, 1992 [1980], p. 199). Na ordem implícita, tudo está internamente relacionado, tudo contém tudo; só na ordem explícita as coisas estão separadas e relativamente autônomas (cf. Bohm, 2011, p. 121).

Como a totalidade da ordem implícita não pode tornar-se manifesta para nós, somente alguns aspectos dela se manifestam. A totalidade da ordem nunca pode ser reduzida àquilo que se manifesta. Na visão cartesiana, a totalidade da ordem, pelo menos potencialmente, é manifesta. A ordem cartesiana corresponde à visão de que o universo é considerado como analisável em partes ou objetos separadamente existentes. Essas partes podem atuar juntas, em interação, como acontece, analogamente, com as partes de uma máquina (cf. Bohm, 1992 [1980], p. 156).

Na ordem cartesiana, desempenham um papel importantíssimo as coordenadas (cartesianas), que geram um ordenamento realizado com o auxílio de uma grade, constituída de três conjuntos de linhas uniformemente espaçadas, formando uma repre-

sentação do espaço como tridimensional. Utilizar as coordenadas cartesianas é uma forma de ordenar a nossa atenção de uma maneira que seja apropriada à concepção mecânica do universo e, desse modo, ordenar, de maneira semelhante, nossa percepção e nosso pensamento (cf. Bohm, 1992 [1980], p. 157). No âmbito dessa ordem cartesiana foram formuladas as leis físicas newtonianas, que prevaleceram como instrumento racional que daria conta de explicar a natureza. No entanto, no século xx, a física newtoniana mostrou-se inadequada e falha em novos contextos descobertos à medida que novos fatos vieram à tona.

A ordem explícita é a que corresponde às coisas desdobradas, com o sentido de que cada coisa ocupa apenas a sua própria região particular do espaço e do tempo, exteriormente às regiões pertencentes às outras. Essa ordem impõe uma análise do mundo em componentes autônomos. Ela possui características paralelas à ordem cartesiana, mas, de modo algum, é a ordem cartesiana, uma vez que a ordem explícita faz parte de um movimento fundamental que consiste em recolhimento e desdobramento – sendo ela a parte desdobrada –, ao passo que, para Descartes, o movimento fundamental é o cruzamento do espaço no tempo, ou seja, um objeto localizado que se move de um ponto a outro (cf. Bohm, 1991, p. 47).

Bohm propôs, por meio de sua teoria da ordem implícita e da ordem explícita, que enxergássemos a realidade como uma totalidade ininterrupta. Nossa visão será sempre limitada, entretanto uma maneira adequada é percebermos que existem infinitas ordens presentes na realidade. Ordens que vão desde uma previsibilidade bastante elevada até outras que são bastante imprevisíveis. Isso nos remete à visão de que existem graus de ordem diferentes presentes na natureza. Como exemplo, há a ordem do movimento de uma partícula na física newtoniana como sendo de segunda ordem, ou seja, ela é definida por dois elementos, e a taxa de variação da velocidade da partícula, sua aceleração, fica determinada uma vez conhecida a natureza da força externa. Se essa força for definida ao longo de toda a trajetória da partícula, “uma vez conhecidas a posição e a velocidade iniciais, fica perfeitamente determinado o movimento da trajetória” (Bohm & Peat, 1989, p. 165). Trata-se, portanto, de um exemplo de um bom relógio.

A noção de ordem utilizada por Bohm é bastante significativa para que possamos avançar em sua própria abordagem sobre o tema em debate. As ordens de grau baixo, como a de segundo grau descrita no exemplo citado, indica a possibilidade de previsão, de regularidade, de lei determinista. Todavia, de acordo com essa abordagem, nada indica que a natureza é composta somente por ordens de grau baixo, conseqüentemente, nada pode garantir-nos que todas as nuvens são relógios. O desenvolvimento da ciência mostrou a existência de ordem de grau muito elevado, até mesmo de grau infinito.

Com isso, há a ocorrência, então, de um espectro de ordens que vão desde o mais baixo, o segundo grau, até o grau infinito, o aleatório.

De acordo com Bohm e Peat (cf. 1989, p. 169), a ordem aleatória pode ser definida como um caso especial de ordem caótica e possui as seguintes características: é de grau infinito; não possui traços de subordem de baixo grau; possui um comportamento médio razoavelmente constante e tende a variar dentro de domínios limitados, os quais permanecem mais ou menos inalterados ou mudam lentamente. A ordem aleatória não nos possibilita, pois, uma previsão precisa. Temos, dessa forma, as nuvens.

Assim, o aleatório não é tratado como algo incomensurável com a ordem em si, mas como um caso especial de uma noção mais geral de ordem, no caso em questão, a de ordens de graus infinitos. Acaso, aleatório, contingência não são desordens, ou seja, não são ausência de ordem (cf. Bohm & Peat, 1989, p. 170). Essa abordagem já indica sinais de superação da visão dicotômica mecanicista do mundo alicerçada na doutrina na qual tudo é determinado ou tudo é indeterminado.

A noção de espectro de ordem engloba, em uma unidade e em uma totalidade, as noções de ordem baixa e infinita, as perspectivas do determinismo e do indeterminismo, as noções de necessidade e de acaso, porém, sem serem tratadas como formas absolutas e totalmente separadas umas das outras; isso porque as noções de ordem de grau muito baixo e aleatória dependem do contexto (cf. Bohm & Peat, 1989, p. 168). Tratando o aleatório como um caso limite de ordem, “é possível associar as noções de determinismo estrito e de acaso (isto é, de aleatório), vendo-as como processos que se situam nos extremos opostos do espectro geral da ordem” (Bohm & Peat, 1989, p. 176). O que percebemos, portanto, é que os dois mundos – nuvens e relógios – tocam-se e relacionam-se. Mediante essa perspectiva,

(...) os movimentos caóticos resultam da ação de determinadas forças, conclusão que surge reforçada quando há muitas partículas. Cada partícula está sujeita a forças provenientes de todas as outras e que variam de modo quase infinitamente complexo. Em um contexto em que todas as forças são tomadas em consideração, é em princípio possível ter uma descrição determinista do movimento interno dentro do sistema (Bohm & Peat, 1989, p. 176-7).

Em contrapartida, se todos esses pormenores não forem levados em consideração, a ordem terá um grau infinito. Sistemas mais complexos são suscetíveis de desenvolverem instabilidades e podem ser profundamente afetados por interações externas. Vale ressaltarmos, também, que nada do que é estipulado pelas leis da natureza será completo e universalmente válido. Por conseguinte, podemos destacar, na pers-

pectiva de Bohm, uma nova visão sobre o determinismo e o indeterminismo, a qual, segundo nossa análise, supera a dicotomia nuvens-relógios.

Não há, assim, nenhuma necessidade de presumir a existência do determinismo completo, apesar de este ser, em alguns contextos satisfatoriamente alargados, uma abstração e uma aproximação corretas. Nem há, igualmente, nenhuma necessidade de assumir que o acaso e o indeterminismo comandam em absoluto, embora estes também sejam abstrações e aproximações corretas nos contextos apropriados (Bohm & Peat, 1989, p. 178).

Na maior parte dos sistemas físicos, existe um espectro inteiro com ordens de baixo grau em um dos extremos e com ordens caóticas em outro. Entre elas, encontram-se várias espécies de ordens muito sutis, que não são nem caóticas nem de baixo grau. A ciência, porém, ainda não explorou “essas ordens intermédias de modo significativo, não obstante elas terem grande importância em diversas áreas e, na verdade, é possível que a própria vida delas dependa” (Bohm & Peat, 1989, p. 186-7). Mediante essa abordagem, que corrobora o que defendemos neste artigo, podemos, de fato, ir além das nuvens e dos relógios. Segundo a análise de Bohm e Peat, podemos reconhecer os sistemas físicos partindo do espectro integral da ordem. Aquelas ordens que representam sistemas físicos mais deterministas – no entanto, nunca totalmente deterministas – expressam um limite. Aquelas que representam sistemas físicos mais indeterministas – no entanto, nunca totalmente indeterministas – expressam o outro limite. “Assim, evita-se qualquer quebra na comunicação e os campos relacionados com as diversas faixas desse espectro terão uma base em comum” (Bohm & Peat, 1989, p. 187). Supera-se a dicotomia.

Retomando a perspectiva da abordagem da ordem implícita e explícita, se tivermos como referência de análise o mundo do dia a dia, da dimensão de nossos sentidos, teremos a ordem manifesta das coisas. Segundo essa dimensão, não há como perceber com nitidez as conexões e as relações intrínsecas que tecem o conjunto dinâmico da totalidade da realidade. Assim, se a ciência confinar-se à investigação apenas da ordem explícita, conforme a abordagem bohmiana, seremos impelidos a enxergar a realidade como constituída de elementos separados e, por conseguinte, nessa lógica, inevitavelmente teremos uma imagem da realidade como se fosse formada por opostos. “Além das nuvens e dos relógios” significa, então, ir além dessa dicotomia.

Frisamos, no entanto, que a transcendência do mundo dos opostos não significa, de modo algum, tornar a natureza opaca e homogênea. As diferenças existem, porém o tratamento dado a essas diferenças e individualidades não conduz à visão de uma realidade composta por fragmentos. Perceber a realidade dos opostos apenas como

adequada em alguns contextos específicos significa enxergar a complexidade subjacente à natureza. Essa percepção permite-nos começar a entender o processo intrincado, do qual também fazemos parte, de como a realidade é tecida e de como é rico, diversificado e criativo esse processo. Se os chamados opostos são interdependentes, suas manifestações, mediante a visão da unidade, nunca serão vistas como rompimento, mas como relação, que nos aponta para um tipo sutil de equilíbrio dinâmico entre tudo o que existe. Nessa visão, essencialmente ligada à perspectiva da ordem implícita, os elementos não são como objetos separados, são um conjunto de relações. Tais relações podem ser mais estáveis em alguns contextos, ou mais instáveis em outros, mais deterministas em alguns contextos, ou mais indeterministas em outros.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Bohm ofereceu-nos uma abordagem científica que nos revela uma nova percepção da realidade para além do determinismo e indeterminismo absolutos. Esses conceitos, em sua visão, são abstrações que podem ser efetivadas em contextos específicos. O mundo físico comporta, pois, concepções, como a de liberdade e de adaptação, que também constituem o mundo humano, edificando, assim, uma unidade entre os saberes e a realidade. Vimos que, em sua trajetória científica e filosófica, Bohm vislumbrou no comportamento do plasma e no conceito de movimento coletivo um panorama da natureza que perpassa o movimento individual livre e a coletividade ordenada. Por meio de sua interpretação causal da teoria quântica e de sua evolução para uma interpretação ontológica, a causalidade é um conceito que se refere a cenários físicos tanto deterministas como indeterministas e essa dicotomia deixa de ser primordial, uma vez que Bohm estava deslocando o seu foco central na relevância de uma linguagem física que pudesse ser coerente e correspondente a uma realidade efetiva.

Ressaltamos aqui que, conforme a perspectiva bohmiana, mediante o seu programa científico da totalidade e da ordem implícita, tudo que se falar da totalidade infinita nunca a abarcará. Em sua opinião, o melhor que podemos fazer é apontar para alguns de seus aspectos. A tentativa de compreender o infinito pelo finito, segundo a abordagem bohmiana, leva a paradoxos e a contradições, como adotar uma perspectiva determinista ou indeterminista sobre a totalidade. Segundo a teoria de Bohm, a totalidade não é indeterminista nem determinista – nem nuvem nem relógio –, vai além da ordem implícita e da ordem explícita e, também, do tempo e do espaço. Essa visão o levou a formular uma pergunta fundamental em suas investigações científico-filosóficas, que é a de saber qual é a relação entre o ser humano verdadeiramente livre e a totalidade (cf. Bohm, 1986, p. 205).

Um ser humano verdadeiramente livre implica que ele e o mundo do qual faz parte não são regidos por leis deterministas ou indeterministas. A totalidade a que remete a pergunta refere-se àquilo que está além do que podemos pensar e dizer, ou seja, está “além das nuvens e dos relógios”. Outra questão importante para Bohm, que se relaciona com a primeira apresentada, era saber se podemos ser livres para participar da criatividade da totalidade em um nível apropriado ao nosso verdadeiro potencial (cf. Bohm, 1986, p. 206). Sua abordagem sugere que, somente em plena liberdade, a criatividade poderá existir, e essa criatividade não se origina nem na parte nem todo, mas em ambas, pois são uma só. Tais questões são atemporais e exigem de nós uma nova percepção da realidade.☉

*Rodrigo* FRANÇA CARVALHO  
Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de Goiás, Brasil.  
*silenciorodrigo@gmail.com*

Beyond clouds and watches:  
the perception of reality by David Bohm

ABSTRACT

In this article, I present and discuss a specific aspect of the scientific view of the quantum physicist David Bohm (1917-1992) about reality. In the discussion, we intend to show that this view is based on the transcendence of the determinism-indeterminism dichotomy. Through some of his theories, such as the plasma theory, the ontological interpretation of quantum theory and the scientific program of totality and of the implicate order and explicate order, I aimed to defend the idea that Bohm's view is that reality is a process located beyond the “clouds and watches”, an expression borrowed from the philosopher of science Karl Popper (1902-1994). Thus, this view opens space for understanding that creativity and freedom are fundamental to nature and to reality as a whole.

KEYWORDS • Bohm, Popper. Clouds. Watches. Plasma. Creativity. Freedom. Determinism. Indeterminism. Quantum theory.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEN-DOV, Y. *Convite à física*. Tradução: M. L. X. de A. Borges; revisão técnica: H. L. de Barros. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1996.
- BOHM, D. A suggested interpretation of the quantum theory in terms of ‘hidden’ variables I. *Physical Review*, 85, p. 166-79, 1952a.
- \_\_\_\_\_. A suggested interpretation of the quantum theory in terms of ‘hidden’ variables II. *Physical Review*, 85, p. 180-93, 1952b.

- BOHM, D. *Causalidad y azar en la física moderna*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1959.
- \_\_\_\_\_. Comments on Ilya Prigogine's program. In: GRIFFIN, D. R. (Ed.). *Physics and the ultimate significance of time: Bohm, Prigogine, and process philosophy*. New York: State University of New York Press, 1986. p. 261-3.
- \_\_\_\_\_. Entrevista a Renée Weber. In: WEBER, R. *Diálogos com sábios e cientistas – a busca da unidade*. Tradução G. C. C. de Sousa. São Paulo: Cultrix, 1991.
- \_\_\_\_\_. *A totalidade e a ordem implicada – uma nova percepção da realidade*. Tradução: M. de C. Silva. São Paulo: Cultrix, 1992 [1980].
- \_\_\_\_\_. *Diálogo: comunicação e redes de convivência*. Tradução H. Mariotti. São Paulo: Palas Athena, 2005.
- \_\_\_\_\_. *O pensamento como um sistema*. Tradução T. Lorent. São Paulo: Madras, 2007.
- \_\_\_\_\_. *Sobre a criatividade*. Tradução R. de C. Gomes. São Paulo: Unesp, 2011.
- BOHM, D & PEAT, F. D. *Ciência, ordem e criatividade*. Tradução J. da S. Branco. Lisboa: Gradiva, 1989.
- BOHM, D & HILEY, B. *The undivided universe – an ontological interpretation of quantum theory*. New York: Taylor & Francis e-Library, 2009.
- BUNGE, M. *Física e filosofia*. Tradução G. K. Guinsburg. São Paulo: Perspectiva, 2000.
- CARSON, C.; KOJEVNIKOV, A. & TRISCHLER, H. (Ed.). *Weimar culture and quantum mechanics – selected papers by Paul Forman and contemporary perspectives on the Forman thesis*. London: Imperial College Press/World Scientific Publishing, 2010.
- CUSHING, J. T. A visão de mundo da mecânica quântica: determinista ou indeterminista? In: PESSOA, O. (Org.) *Fundamentos da física 1 – simpósio David Bohm*. São Paulo: Livraria da física, 2000. p. 1-18.
- FORSTNER, C. *Dialectical materialism and the construction of a new quantum theory: David Joseph Bohm, 1917-1992*. Berlin: Max Planck Institute for the History of Science, 2005. p. 1-11.
- \_\_\_\_\_. The early history of David Bohm's quantum mechanics through the perspective of Ludwik Fleck's thought-collectives. *Minerva*, 46, 2, p. 215-29, 2008.
- FREIRE, O. David Bohm e as controvérsias do mundo dos quanta. *Ciência Hoje*, 29, 169, p. 34-9, 2001.
- \_\_\_\_\_. Causality in physics and in the history of physics: a comparison of Bohm's and Forman's papers. In: CARSON, C.; KOJEVNIKOV, A. & TRISCHLER, H. (Ed.). *Weimar culture and quantum mechanics – selected papers by Paul Forman and contemporary perspectives on the Forman thesis*. London: Imperial College Press/World Scientific Publishing, 2010. p. 397-412.
- \_\_\_\_\_. Continuity and change: charting David Bohm's evolving ideas on quantum mechanics. In: KRAUSE, D. & VIDEIRA, A. (Ed.). *Brazilian studies in philosophy and history of science*. Dodrecht: Springer, 2011. (Boston Studies in the Philosophy of Science, v. 290). p. 291-9.
- \_\_\_\_\_. *The quantum dissidents – rebuilding the foundation of quantum mechanics (1950-1990)*. Berlin: Springer, 2015.
- \_\_\_\_\_. Challenging the monocacy of the Copenhagen school. In: \_\_\_\_\_. *The quantum dissidents – rebuilding the foundation of quantum mechanics (1950-1990)*. Berlin: Springer, 2015. cap. 2, p. 17-74.
- FREIRE, O; PESSOA, O & BROMBERG, J. L. (Org.). *Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais*. Campina Grande: Editora da Universidade Estadual da Paraíba/Livraria da Física, 2010.
- GRIFFIN, D. R. (Ed.). *Physics and the ultimate significance of time: Bohm, Prigogine, and process philosophy*. New York: State University of New York Press, 1986.
- HEISENBERG, W. *Física e filosofia*. 3 ed. Tradução J. L. Ferreira. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1995.
- JOAS, C. Campos que interagem: física quântica e a transferência de conceitos entre física de partículas, nuclear e do estado sólido. In: FREIRE, O; PESSOA, O & BROMBERG, J. L. (Org.). *Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais*. Campina Grande: Editora da Universidade Estadual da Paraíba/Livraria da Física, 2010. p. 107-49.

- KOJEVNIKOV, A. David Bohm and collective movement. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 33, p. 161-92, 2002.
- KOYRÉ, A. *Estudos de história do pensamento científico*. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1982.
- KRAUSE, D. & VIDEIRA, A. (Ed.). *Brazilian studies in philosophy and history of science*. Dodrecht: Springer, 2011. (Boston Studies in the Philosophy of Science, v. 290).
- PATY, M. “Construção do objeto” e objetividade na física quântica. In: FREIRE, O; PESSOA, O & BROMBERG, J. L. (Org.). *Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais*. Campina Grande: Editora da Universidade Estadual da Paraíba/Livraria da Física, 2010. p. 153-80.
- PEAT, F. D. *Infinite potential: the life and times of David Bohm*. New York: Addison-Wesley, 1997.
- PESSOA, O. (Org.) *Fundamentos da física 1 – simpósio David Bohm*. São Paulo: Livraria da física, 2000.
- PINTO NETO, N. *Teorias e interpretações da mecânica quântica*. São Paulo: Editora Livraria da Física; Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 2010.
- POPPER, K. R.. *Conhecimento objetivo: uma abordagem evolucionária*. Tradução M. Amado. Belo Horizonte/São Paulo: Itatiaia/Edusp, 1975.
- RIBEIRO FILHO, A. Ondas de De Broglie e não linearidade. In: PESSOA, O. (Org.). *Fundamentos da Física 1 – Simpósio David Bohm*. São Paulo: Livraria da Física, 2000. p. 79-83.
- RUSSEL, B. *História do pensamento ocidental: a aventura dos pré-socráticos a Wittgenstein*. Tradução L. Alves e A. Rebello. Rio de Janeiro: Ediouro, 2001.
- SILVEIRA, A. F. da; RIBEIRO FILHO, A. & SILVA, A. P. B. da. Os princípios de complementaridade e de incerteza na obra Copenhague de Michael Frayn: a arte e a teoria quântica. In: FREIRE, O; PESSOA, O & BROMBERG, J. L. (Org.). *Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais*. Campina Grande: Editora da Universidade Estadual da Paraíba/Livraria da Física, 2010. p. 319-35.
- WEBER, R. *Diálogos com sábios e cientistas: a busca da unidade*. Tradução G. C. C. de Sousa. São Paulo: Cultrix, 1991.

